



**TUGAS AKHIR - TM 095502**

**ANALISA HASIL SAMBUNGAN LAS METODE  
PENGELASAN SMAW MENGGUNAKAN  
MATERIAL SA 36 YANG SEBELUMNYA  
TERBAKAR DENGAN SUHU 700°C DAN 900°C  
SELAMA 4 JAM**

**MOHAMMAD FAHRIZAL  
NRP.2112 030 003**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Subowo, MSc  
195810241987011000**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



**FINAL PROJECT - TM 095502**

**ANALYSIS OF EXPOSURE SMAW WELDING  
METHOD USING MATERIAL SA 36  
PREVIOUSLY BURNED WITH TEMPERATURE  
700°C AND 900°C FOR 4 HOURS**

**MOCHAMMAD FAHRIZAL  
NRP.2112 030 003**

**Academic Supervisor  
Ir. Subowo, MSc  
195810241987011000**

**PROGRAM STUDY DIPLOMA III  
DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

**“ANALISA HASIL SAMBUNGAN LAS METODE  
PENGELASAN SMAW MENGGUNAKAN  
MATERIAL SA 36 YANG SEBELUMNYA  
TERBAKAR DENGAN SUHU 700°C DAN 900°C  
SELAMA 4 JAM”**

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
Pada

Bidang Studi Manufaktur  
Program Studi Diploma III Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MOCHAMMAD FAHRIZAL  
NRP. 2112030003**

Mengetahui dan Menyetujui  
**Dosen Pembimbing**



**Ir. Subowo, MSc**  
19581024 198701 1 000

**SURABAYA,**

**FEBRUARI 2016**

# **ANALISA HASIL SAMBUNGAN LAS METODE PENGELASAN SMAW MENGGUNAKAN MATERIAL SA 36 YANG SEBELUMNYA TERBAKAR DENGAN SUHU 700°C DAN 900°C SELAMA 4 JAM**

**Nama** : Mochammad Fahrizal  
**NRP** : 2112 030 003  
**Jurusan** : D3 Teknik Mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Subowo, MSc

## **Abstrak**

Dalam pembangunan gedung bertingkat pada umumnya material yang digunakan adalah SA 36. Saat ini resiko terjadinya kebakaran sangat besar sehingga berdampak pada perubahan sifat mekanik Material SA 36, maka dari itu. Analisa hasil sambungan las metode pengelasan SMAW menggunakan Material SA 36 yang sebelumnya terbakar dengan suhu 700°C dan 900°C selama 4 jam diperlukan agar kita lebih paham dalam hal menanggulangi pasca kebakaran gedung yang menggunakan material SA 36.

Dari penelitian ini akan membandingkan sambungan las dari material SA36 yang sebelumnya terbakar dengan suhu 700°C dan 900°C selama 4 jam dengan proses pengelasannya menggunakan arus 90 Ampere, filler 7016 berdiameter 2,6 mm yang nantinya akan dilakukan pengujian berupa *tensile test*, *hardness test*, dan *metallography*.

Hasil pengujian tarik spesimen yang terbakar dengan suhu 700°C memiliki kekuatan tarik lebih besar yaitu 486,34 N/mm<sup>2</sup> sedangkan spesimen yang terbakar dengan suhu 900°C memiliki kekuatan tarik lebih rendah yaitu 460,88 N/mm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil uji kekerasannya. Nilai kekerasan pada spesimen yang terbakar dengan suhu 700°C lebih besar yaitu 84,701 HRB untuk spesimen yang terbakar dengan suhu 900°C memiliki nilai lebih rendah yaitu 84,484 HRB. Untuk hasil makro, HAZ terlebar didapat pada spesimen yang terbakar dengan suhu 900°C dengan lebar 2,7mm. Untuk struktur mikro hanya terdapat *ferrit* dan *pearlit*.

**Kata-kata kunci** : *tensile test*, *hardness test*, dan *metallography*.



# **ANALYSIS OF EXPOSURE SMAW WELDING METHOD USING MATERIAL SA 36 PREVIOUSLY BURNED WITH TEMPERATURE 700°C AND 900°C FOR 4 HOURS**

**Name** : Mochammad Fahrizal  
**NRP** : 2112 030 003  
**Major** : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS  
**Advisor** : Ir. Subowo, MSc

## **Abstract**

In the construction of multi-storey building in general the material used is SA 36. At present a risk of fire is very large so the impact on changes in the mechanical properties Materials SA 36, therefore. Analysis of the results of welded joints using the SMAW welding methods Materials SA 36 previously burned at a temperature of 700°C and 900°C for 4 hours needed to make us more aware in terms of tackling post-fire buildings that use materials SA 36.

From this research will compare the welded joints of material SA36 previously burned at a temperature of 700°C and 900°C for 4 hours with a welding process using the current 90 Ampere, 2.6 mm diameter filler 7016 which will be tested in the form of tensile test, hardness test and metallography ,

The results of tensile test specimens were burned at a temperature of 700°C has a greater tensile strength is 486.34 N/mm<sup>2</sup> while the specimen burns at a temperature of 900°C has a tensile strength lower at 460.88 N/mm<sup>2</sup>. Based on the result of violence. Hardness value on specimen burns at a temperature of 700°C larger, at 84.701 HRB for specimens that burn with a temperature of 900°C has more value lower at 84.484 HRB. Macro results, HAZ widest specimens obtained at a temperature of 900°C to burn with 2,7mm wide. for there is only ferrite microstructure and pearlite.

**Key words:** tensile test, hardness test, and metallography.

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta atas segala Rahmat dan Karunia-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Penelitian yang berjudul :

### **“ANALISA HASIL SAMBUNGAN LAS METODE PENGELASAN SMAW MENGGUNAKAN MATERIAL SA 36 YANG SEBELUMNYA TERBAKAR DENGAN SUHU 700°C DAN 900°C SELAMA 4 JAM”**

dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Penelitian ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Subowo, MSc. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Penelitian ini.
2. Bapak Ir. Suhariyanto, M.T selaku kaprodi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Ibu Liza Rusdiyana, ST, M.T selaku koordinator Penelitian D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Ir. Mahirul Mursid, MSc. selaku Dosen Wali selama di D3 Teknik Mesin FTI-ITS.



5. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Jurusan D3 Teknik Mesin FTI-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
6. Tim Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan Penelitian ini.
7. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu yang selalu memberikan semangat, doa ,serta dukungan dalam bentuk apapun.
8. Saudara Bagus, Bangkit, Yhogie, Andy, dan Rudy kerjasamanya sebagai team work selama proses pengerjaan Penelitian ini.
9. Teman – teman angkatan 2011, 2012, 2013 atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
10. Pak ali, Pak sajidin, dan Pak Narto yang telah memberikan kesempatan penulis menggunakan tempat kerja untuk melakukan praktikum pengelasan
11. Rekan – rekan PPNS 2010,2012 yang telah membantu penulis selama pengerjaan Penelitian.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan Penelitian ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga Penelitian ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Program studi Sarjana Teknik Mesin FTI-ITS dan D3 Teknik Mesin FTI-ITS.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xii</b>

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metodologi Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	5

### **BAB II DASAR TEORI**

2.1 Definisi Pengelasan	7
2.1.1 <i>Shielded Metal Arc Welding</i> (SMAW)	7
2.1.2 Posisi Pada Pengelasan	8
A. Posisi 1G	8
B. Posisi 2G	9
C. Posisi 3G	9
D. Posisi 4G	10
2.1.3 Heat Input	10
2.1.4 Kodefikasi Elektroda	10
2.1.5 Struktur Mikro Las	11
2.2 Baja Karbon	13
2.3 Material	17
2.4 Sifat Mekanik	18



2.5 Tensile Test .....	19
2.5.1 Sifat uji Tarik dilihat dari patahan .....	21
2.6 Hardness Test .....	22
2.6.1 Pengujian kekerasan Rockwell .....	22
2.7 Metalography Test.....	25
2.7.1 Macam-macam cairan etsa.....	25
2.7.2 Macam-macam prngujian metalography .....	26
2.7 Pengaruh Layer .....	28
2.8.1 Single Layer.....	28
2.8.2 Multi Layer .....	29

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Flow Chart Penelitian.....	31
3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian .....	32
3.3 Tempat.....	32
3.4 Langkah kerja.....	32
3.4.1 Studi literatur .....	32
3.4.2 Persiapan Material .....	32
3.4.3 Pengelasan.....	34
1. Variasi suhu kebakaran 700°C.....	34
2. Variasi suhu kebakaran 900°C.....	35
3.4.4 Persiapan Benda uji .....	36
3.4.5 Pengambilan Test Piece .....	36
A. Pengujian Tarik.....	37
B. Pengujian Kekerasan .....	39
C. Pengujian Metalography .....	40

### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Tensile Test (Uji Tarik).....	43
4.2 Hardness Rockwell(Uji Kekerasan) .....	51
4.2.1 Nilai Kekerasan Sebelum Terbakar.....	52
4.2.2 Nilai Kekerasan Sesudah Terbakar .....	55

4.3 Analisa Pengujian Metalography .....	62
4.3.1 Pengujian Makro .....	62
4.3.2 Pengujian Mikro .....	68
4.4 Hubungan antara kekerasan dan Tarik .....	73

## **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76

## **DAFTAR PUSTAKA .....**

## **LAMPIRAN .....**



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW.....	8
Gambar 2.2 Posisi pengelasan 1G.....	8
Gambar 2.3 Posisi pengelasan 2G.....	9
Gambar 2.4 Posisi pengelasan 3G.....	9
Gambar 2.5 Posisi pengelasan 4G.....	10
Gambar 2.6 Fase Diagram Fe3-C.....	14
Gambar 2.7 Struktur Mikro Ferrit.....	14
Gambar 2.8 Struktur Mikro Cementit.....	15
Gambar 2.9 Struktur Mikro Perlit.....	15
Gambar 2.10 Struktur Mikro Martensi.....	16
Gambar 2.11 Transformasi Fasa Pada Daerah Pengelasan.....	17
Gambar 2.12 Kurva tegang-regang teknik.....	20
Gambar 2.13 Sifat Base Metal dari patahan.....	21
Gambar 2.14 Prinsip Kerja <i>Rockwell</i> .....	23
Gambar 2.15 perhitungan <i>Rockweel</i> .....	23
Gambar 2.16 Pantulan Sinar Pada <i>Metalograph Test</i> .....	27
Gambar 2.17 Alat Penguji Struktur Mikro.....	28
Gambar 2.18 Karakteristik Sambungan Las Pada Single Layer.....	28
Gambar 2.19 Typical Heat Cycles 5 $\Delta t$ 8/5 (Temperatur 800° – 500°/ 300° C) Multi Layer.....	29
Gambar 2.20 grafik kekuatan Multi Layer dan Hasil Pengelasan Multi Layer.....	30
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Diagram.....	31
Gambar 3.2 Dimensi Material.....	33
Gambar 3.3 Sudut Bevel Yang Digunakan.....	33
Gambar 3.4 Material Dengan Kampuh 30°.....	33
Gambar 3.5 Proses pengelasan.....	35
Gambar 3.6 Tank Ampere.....	36
Gambar 3.7 Dimensi Specimen Tarik.....	37
Gambar 3.8 Spesimen uji tarik suhu 700°C.....	38
Gambar 3.9 Spesimen uji tarik suhu 900°C.....	38
Gambar 3.10 Alat Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	39



Gambar 3.11 Lokasi Indentasi Uji Kekerasan.....	39
Gambar 3.12 Spesimen sebelum di etsa .....	41
Gambar 3.13 Alat dan bahan untuk proses etsa .....	41
Gambar 3.14 Larutan Etsa.....	42
Gambar 3.15 Kertas Gosok .....	42
Gambar 4.1 Grafik Rata-rata Tegangan Tarik Pada Spesimen Sebelum Terbakar .....	44
Gambar 4.2 Grafik Rata-rata Tegangan Tarik Pada Spesimen Suhu 700°C dan Suhu 900°C .....	45
Gambar 4.3 panjang lo dan panjang l1 Sebelum Terbakar .....	45
Gambar 4.4 panjang lo dan panjang l1 suhu 700°C .....	46
Gambar 4.5 panjang lo dan panjang l1 suhu 900°C .....	46
Gambar 4.6 Bentuk Patahan Spesimen Sebelum Terbakar .....	47
Gambar 4.7 Bentuk Spesimen Spesimen Suhu 700°C .....	48
Gambar 4.8 Bentuk Spesimen Spesimen Suhu 900°C .....	48
Gambar 4.9 Patahan Spesimen Sebelum Terbakar Pada Daerah Base Metal.....	49
Gambar 4.10 Patahan Spesimen Suhu 700°C Pada Daerah Base Metal.....	49
Gambar 4.11 Patahan Spesimen Suhu 900°C Pada Daerah Base Metal.....	50
Gambar 4.12 Letak Indentasi Material Sebelum Terbakar .....	51
Gambar 4.13 Letak acuan indentasi BM Sebelum Terbakar .....	53
Gambar 4.14 Bidang Segaris BM Sebelum Terbakar .....	53
Gambar 4.15 Grafik Rata-Rata BM Sebelum Terbakar .....	54
Gambar 4.16 Letak Indentasi Material Suhu 700°C dan 900°C .....	55
Gambar 4.17 Letak acuan indentasi suhu 700°C.....	56
Gambar 4.18 Bidang Segaris suhu 700°C .....	56
Gambar 4.19 Grafik Rata-Rata BM suhu 700°C .....	57
Gambar 4.20 Letak acuan indentasi suhu 900°C.....	58
Gambar 4.21 Bidang Segaris suhu 900°C .....	58

Gambar 4.22 Grafik Rata-Rata BM suhu 900°C .....	59
Gambar 4.23 Grafik Rata-Rata Nilai Uji Kekerasan Base Metal .....	60
Gambar 4.24 Grafik Rata-Rata Nilai Uji Kekerasan HAZ .....	60
Gambar 4.25 Grafik Rata-Rata Nilai Uji Kekerasan WM .....	61
Gambar 4.26 Sketsa Daerah HAZ .....	62
Gambar 4.27 Acuan Lebar HAZ .....	62
Gambar 4.28 Lebar rata-rata HAZ BM Sebelum Terbakar .....	63
Gambar 4.29 Lebar HAZ Suhu 700°C .....	64
Gambar 4.30 Lebar HAZ Suhu 900°C .....	65
Gambar 4.31 Grafik Lebar rata-rata HAZ .....	66
Gambar 4.32 Grafik Luas rata-rata HAZ .....	67
Gambar 4.33 Daerah Yang Akan Dimikroskop .....	68
Gambar 4.34 <i>Base Metal</i> Sebelum Terbakar 500X .....	68
Gambar 4.35 <i>Base Metal</i> Suhu 700°C 500X .....	69
Gambar 4.36 <i>Base Metal</i> Suhu 900°C 500X .....	69
Gambar 4.37 HAZ Sebelum Terbakar 500X .....	70
Gambar 4.38 HAZ Suhu 700°C 500X .....	70
Gambar 4.39 HAZ Suhu 900°C 500X .....	71
Gambar 4.40 <i>Weld Metal</i> Sebelum Terbakar 500X .....	71
Gambar 4.41 <i>Weld Metal</i> Suhu 700°C 500X .....	72
Gambar 4.42 <i>Weld Metal</i> Suhu 900°C 500X .....	72



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai <i>Chemical Composition</i> .....	17
Tabel 2.2 Sifat Mekanik SA 36 .....	18
Tabel 2.3 Skala Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	24
Tabel 2.4 Cairan Etsa .....	25
Tabel 3.1 logam induk dan pengisi E 7016.....	34
Tabel 3.2 Parameter Pengelasan .....	34
Tabel 4.1 Hasil Uji Tarik Sebelum Terbakar .....	43
Tabel 4.2 Hasil Uji Tarik .....	44
Tabel 4.3 Nilai Regangan .....	47
Tabel 4.4 Data Hasil uji Kekerasan Sebelum Terbakar ....	52
Tabel 4.5 Data Hasil uji Kekerasan Sesudah Terbakar.....	55
Tabel 4.6 Lebar rata - rata HAZ 1 dan HAZ BM Sebelum Terbakar .....	64
Tabel 4.7 Lebar rata - rata HAZ 1 dan HAZ 2 Suhu 700°C .....	65
Tabel 4.8 Lebar rata - rata HAZ 1 dan HAZ 2 Suhu 900°C .....	66
Tabel 4.9 Lebar rata-rata HAZ.....	66
Tabel 4.10 Luas rata-rata HAZ .....	67



# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Dalam pembangunan gedung bertingkat ada beberapa jenis material yang dapat digunakan, salah satunya adalah dengan menggunakan material baja. Pada konstruksi bangunan terdapat proses pengelasan. Proses pengelasan ini sangat perlu diperhatikan, karena hasil dari proses pengelasan itu sendiri berpengaruh pada sifat mekanis seperti ketangguhan, kekuatan, dan kekerasan baik dari material maupun sambungannya.

Pada saat ini resiko terjadinya kebakaran sangat besar. Terutama di dunia industri kebakaran pada bangunan sering terjadi. Saat kebakaran, terjadi proses pemanasan di sambungan las pada konstruksi baja bangunan. Hal ini akan mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanis dari material. Kebakaran mengakibatkan kerugian yang cukup besar. Kebakaran dapat menimbulkan kerusakan tidak hanya pada barang – barang saja, namun juga kerusakan di bagian sambungan las pada konstruksi.

Konstruksi pada bangunan yang digunakan terbuat dari baja karbon rendah SA36 kemungkinan akan terjadi perubahan sifat mekanik pasca terbakar. Maka dari itu, Analisa hasil sambungan las metode pengelasan SMAW menggunakan Material SA 36 yang sebelumnya terbakar dengan suhu 700°C dan 900°C selama 4 jam diperlukan agar kita lebih paham dalam hal menanggulangi kebakaran gedung yang dalam pembangunannya menggunakan material SA 36 . Akibat dari kebakaran yang berlangsung apakah akan berpengaruh besar terhadap daerah HAZ dari base metal itu sendiri.

Tujuan dari Penelitian ini adalah membandingkan sifat mekanik dari SA 36 dengan diberi variasi suhu kebakaran menggunakan suhu 700°C dan suhu 900°C selama 4 jam. Sifat mekanis tersebut, didapat dari data 3 macam pengujian yaitu: uji tarik, uji kekerasan, dan metalografi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka Penelitian ini mempunyai rumusan masalah yang harus di selesaikan yaitu:

1. Bagaimana hasil pengujian sambungan las dari material SA 36 yang sebelumnya diberikan variasi suhu kebakaran? (Uji Tarik, Uji Kekerasan, luas *HAZ*, *Metalografi*).
2. Bagaimana pengaruh suhu terhadap sifat mekanis *Base Metal* ?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan permasalahan dalam penelitian yang akan dilakukan antara lain:

1. Variasi yang dilakukan adalah pemberian panas pada Material SA 36 sebelum pengelasan berlangsung dengan variasi suhu 700 dan 900 derajat celcius selama 4 jam dengan kampuh yang digunakan adalah single V groove 60°.
2. Menggunakan proses *SMAW* dengan posisi *IG* .
3. Material SA 36 dengan dimensi 150x110mm tebal 10 mm dilas menggunakan elektroda filler E7016 dengan diameter 2.6 mm sebagai tembusan dan elektroda filler E7016 dengan diameter 2.6 mm sebagai isian hingga capping sedangkan arus yang digunakan 90 ampere
4. Pengujian yang dilakukan adalah *Tensile test*, *Hardness test*, dan *Metalography*.
5. Hanya membahas parameter sambungan las dari material SA 36 yang sebelumnya sudah melalui pasca kebakaran.



## 1.4 Tujuan

Adapun tujuan dilakukanya penelitiannya ini adalah untuk:

1. Mengetahui variasi nilai uji tarik dari sambungan las metode pengelasan SMAW menggunakan Material SA36 yang sebelumnya terbakar dengan suhu 700 dan 900 derajat celcius.
2. Mengetahui variasi nilai uji kekerasan dari sambungan las metode pengelasan SMAW menggunakan Material SA36 yang sebelumnya terbakar dengan suhu 700 dan 900 derajat celcius.
3. Mengetahui perbedaan struktur makro dan mikro dari sambungan las metode pengelasan SMAW menggunakan Material SA36 yang sebelumnya terbakar dengan suhu 700 dan 900 derajat celcius.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Memperkaya khasanah keilmuan teknik terutama dalam bidang pengujian logam, pengelasan, dan bahan teknik. Sehingga dapat meningkatkan pengetahuan baik untuk masyarakat umum maupun bagi juru las.
2. Memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh diberikannya variasi suhu kebakaran pada material SA 36 dengan suhu 700 dan 900 derajat celcius selama 4 jam sebelum proses pengelasan terhadap kekerasan dari material SA 36 di daerah *Base Metal*, *HAZ*, dan *Weld Metal*.



## 1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan Penelitian ini adalah :

### 1. Studi Literatur

Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian berupa uji tarik, kekerasan, dan makro etsa, mikro etsa atau karya ilmiah yang berhubungan dengan masalah yang dihadapi.

### 2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing

Dalam penulisan Penelitian ini perlu mengadakan konsultasi atau respon dengan dosen pembimbing.

### 3. Observasi Data

Melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.

### 4. Analisa Data

Menganalisa hasil pengujian tarik, kekerasan, dan struktur (mikro dan makro) yang terjadi pada bagian logam hasil las, HAZ, dan Base Metal setelah dilakukan pengelesan dengan diberikan variasi panas menggunakan buku-buku pedoman.

### 5. Membuat Kesimpulan

Setelah menyelesaikan laporan Penelitian dapat diambil kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Agar hasil pemikiran penulis dapat dimengerti dan dipahami secara keseluruhan, maka penulisan Penelitian ini akan ditulis menurut sistematika penulisan secara umum yaitu:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Pada Bab I menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

- **BAB II DASAR TOERI**

Pada Bab II ini menjelaskan tentang teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian.

- **BAB III METODOLOGI**

Pada Bab III menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi, dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

- **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

Pada Bab IV akan dibahas mengenai hasil pengujian kekerasan yang diambil pada base metal, weld metal, dan HAZ dengan titik-titik yang berbeda.

- **BAB V KESIMPULAN**

Pada Bab V berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran konstruktif untuk penelitian selanjutnya.

- **DAFTAR PUSTAKA**

- **LAMPIRAN**



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## BAB II DASAR TEORI

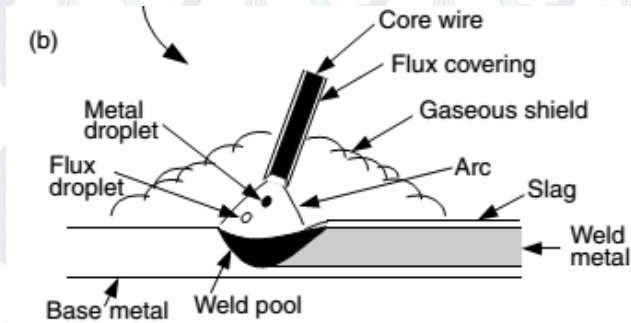
### 2.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan (*Welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa tambahan logam lain. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan sebagian logam, logam pengisi, dan tekanan.

Proses penyambungan lain yang telah dikenal lama selain pengelasan adalah penyambungan dengan cara *Brazing* dan *Soldering*. Perbedaannya dengan pengelasan adalah tidak sampai mencairkan logam induk tetapi hanya logam pengisinya saja. Sedangkan perbedaan antara *Brazing* dan *Soldering* adalah pada titik cair logam pengisinya. Proses *Brazing* berkisar  $450^{\circ}\text{C}$  –  $900^{\circ}\text{C}$ , sedangkan untuk *Soldering*, titik cair logam pengisinya kurang dari  $450^{\circ}\text{C}$ .

#### 2.1.1 Shielded Metal Arc Welding ( SMAW )

SMAW adalah proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda terumpan berpelindung *flux* dengan benda kerja. Bagian ujung elektroda, busur, cairan logam las dan daerah daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbentuk dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda. Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam *flux* atau *slag* yang terbentuk. *Filler* metal atau logam tambahan disuplai oleh inti kawat elektroda terumpan atau pada elektroda elektroda tertentu juga berasal dari serbuk besi yang di campur dengan lapisan pembungkus elektroda. Gambar 2.1 memperlihatkan prinsip dasar proses SMAW.

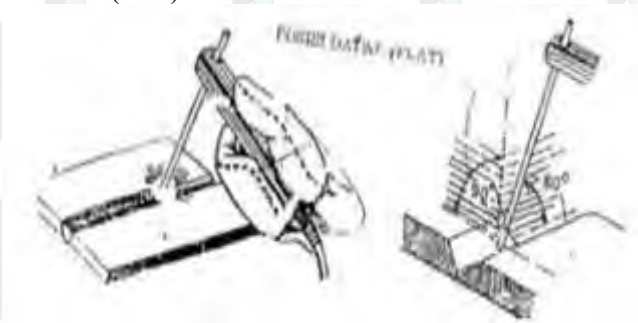


**Gambar 2.1** Proses Pengelasan SMAW

### 2.1.2 Posisi Pada Pengelasan

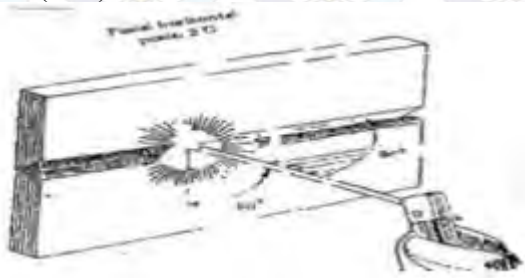
Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi terdiri dari 4 macam yaitu:

#### A. Posisi ( 1G )



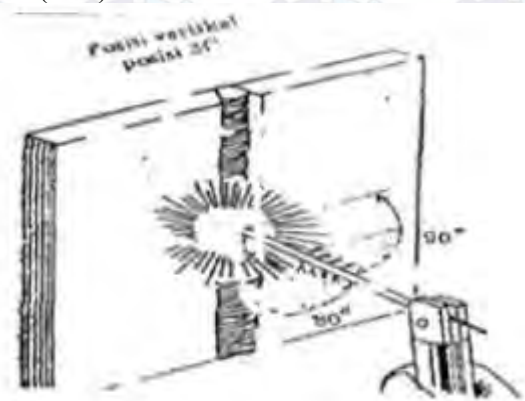
**Gambar 2.2** Posisi pengelasan 1G

**B. Posisi ( 2G )**



**Gambar 2.3** Posisi pengelasan 2G

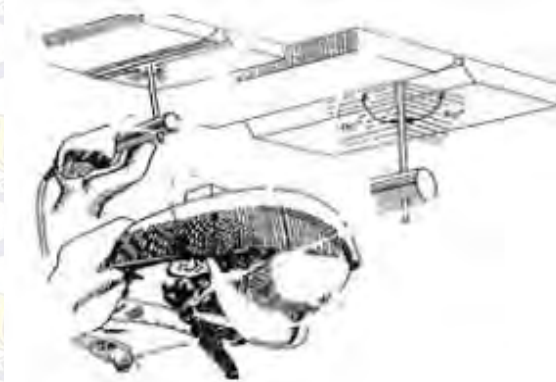
**C. Posisi ( 3G )**



**Gambar 2.4** Posisi pengelasan 3G



#### D. Posisi ( 4G )



**Gambar 2.5** Posisi pengelasan 4G

#### 2.1.3 Heat Input

*Heat Input* adalah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas ( yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak ).

Masukan panas :  $HI = EI/V \dots\dots\dots (2.1)$

Dimana:  $HI = \text{masukan panas atau energi ( J/mm )}$

$I = \text{Arus ( Ampere )}$

$E = \text{Voltase ( Volt )}$

$V = \text{Jarak/Waktu ( mm/s )}$

Input panas juga mempengaruhi bentuk penampang lintang lasan (bead on plate) yang meliputi besarnya permukaan logam induk yang mencair, permukaan bahan pengisi dan HAZ.

#### 2.1.4 Kodefikasi Elektroda

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut ( *fluks* ) dan tidak bersalut yang merupakan pakal untuk menjepitkan tang las. Fungsi *fluks* atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan

udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem AWS ( *American Welding Society* ) dan ASTM ( *American Society Testing Material* ).

Adapun Kodefikasi dari elektroda sebagai berikut

Seperti : **E A B C D**

**E** : Menyatakan elektroda busur listrik.

**AB** : sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ( X1000Psi)

**C** : menyatakan posisi pengelasan.

**D** :menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

### 2.1.5 Struktur Mikro Las

Pada proses pengelasan, transformasi  $\gamma$  (austenit) menjadi  $\alpha$  (ferit) merupakan tahap yang paling krusial karena struktur mikro logam las yang berarti juga sifat-sifat mekanisnya sangat ditentukan pada tahap ini. Diantara faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi  $\gamma$  (austenit) menjadi  $\alpha$  (ferit) adalah masukan panas (*heat input*), komposisi kimia logam las, kecepatan pendinginan dari temperatur 800°C – 500°C.

Logam las merupakan daerah yang mengalami perubahan fasa menjadi cair, sedangkan daerah terpengaruh panas atau HAZ merupakan daerah logam induk yang mengalami perubahan struktur mikro karena panas tetapi tidak sampai mencair. Daerah HAZ terdiri dari butir kasar, butir halus dan daerah transformasi sebagian.

Menurut Abson dan Pargeter (1986), struktur mikro pada logam las biasanya terdiri dari dua atau lebih fasa berikut ini :

1. Ferit batas butir (*grain boundary ferrite*), terbentuk pertama kali pada transformasi  $\gamma - \alpha$ , biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada temperatur  $1000^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$ .
2. *Ferrite Widmanstatten*, jika temperaturnya lebih rendah maka akan terbentuk ferit Widmanstatten. Struktur mikro ini terbentuk pada temperatur  $750^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$  disepanjang batas butir austenit. Ferit widmanstatten mempunyai ukuran besar dengan orientasi arah yang hampir sama sehingga memudahkan terjadinya perambatan retak.
3. *Ferrite Acicular*, berbentuk intragranular dengan ukuran yang kecil dan mempunyai orientasi arah yang acak. Biasannya acicular ferit terbentuk sekitar temperatur  $650^{\circ}\text{C}$  dan mempunyai ketangguhan paling tinggi.
4. *Bainit*, merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenit dan terbentuk pada temperatur  $500^{\circ}$  Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibanding ferit, tetapi lebih rendah dari pada martensit.
5. *Martensit*, akan terbentuk bila proses pengelasan dengan pendinginan yang sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhannya rendah.



## 2.2 Baja Karbon

Baja karbon adalah baja yang hanya terdiri dari besi ( Fe ) dan karbon ( C ) saja tanpa adanya unsur lain.

Baja Karbon berdasarkan prosentase kadar karbonnya dikelompokkan menjadi 3 Macam.

### a. Baja Karbon Rendah.

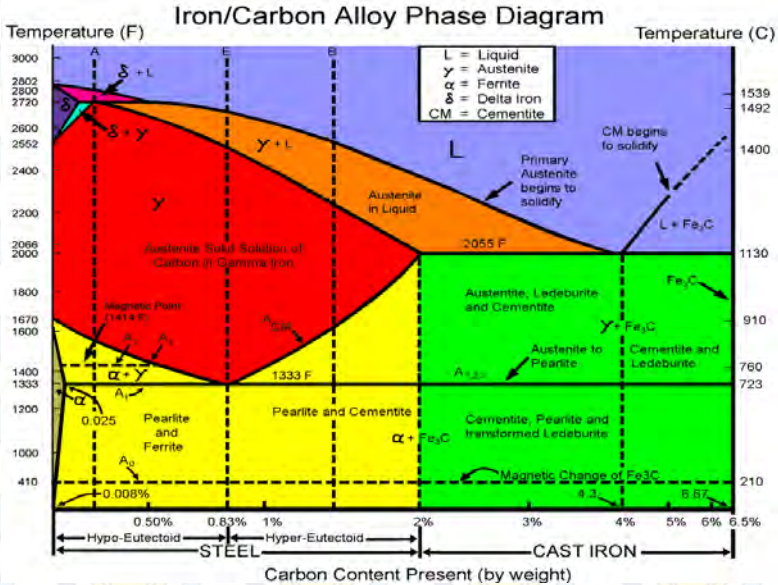
Kandungan karbon pada baja ini antara 0.10 sampai 0.25 % . Karena kadar karbon yang sangat rendah maka baja ini lunak dan tentu saja tidak dapat dikeraskan, dapat ditempa, dituang, mudah dilas dan dapat dikeraskan permukaannya ( case hardening ). Baja dengan prosentase karbon dibawah 0.15 % memiliki sifat mach ability yang rendah dan biasanya digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan, dan lainnya.

### b. Baja Karbon Menengah

Kandungan karbon pada baja ini antara 0.25 sampai 0.55 % . Baja jenis ini dapat dikeraskan dan di tempering, dapat dilas dan mudah dikerjakan pada mesin dengan baik. Penggunaan baja karbon menengah ini biasanya digunakan untuk poros / as, engkol dan sparepart lainnya.

### c. Baja Karbon Tinggi.

Kandungan karbon pada baja ini antara 0.55 sampai 0.70 % . Karena kadar karbon yang tinggi maka baja ini lebih mudah dan cepat dikeraskan dari pada yang lainnya dan memiliki kekerasan yang baik, tetapi susah dai bentuk pada mesin dan sangat susah untuk dilas. Penggunaan baja ini untuk pegas/per, dan alat-alat pertanian.



**Gambar 2.6** Fase Diagram untuk Fe<sub>3</sub>-C

Fasa-fasa yang ada pada diagram fasa besi karbon dapat dijelaskan sebagai berikut:

A. *Ferrit* (disimbolkan dengan α)

Memiliki bentuk sel satuan BCC, terbentuk pada proses pendinginan lambat dari *austenite* baja *hipoeuctoid* (baja dengan kandungan karbon < 0,8%), bersifat lunak, ulet, memiliki kekerasan (70-100) BHN dan konduktivitas termalnya tinggi.

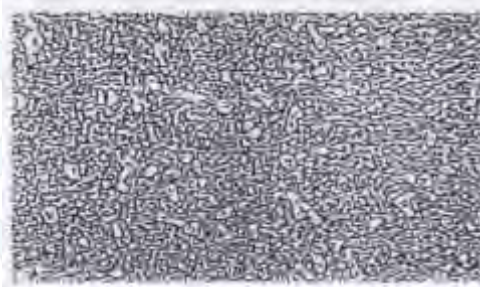


**Gambar 2.7** Struktur Mikro *Ferrit*



B. *Cementit* (disimbolkan dengan  $\text{Fe}_3\text{C}$ )

Adalah senyawa besi dengan karbon, umumnya dikenal sebagai karbida besi dengan rumus kimia  $\text{Fe}_3\text{C}$ , bentuk sel satuannya *ortorombik*, dan bersifat keras (65-68) HRC.



**Gambar 2.8** Struktur Mikro *Cementit*

C. *Perlit* (disimbolkan dengan  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ )

Adalah campuran *ferit* dan *cementit* berlapis dalam suatu struktur butir, memiliki nilai kekerasan (10-30) HRC. Pendinginan lambat menghasilkan *perlit* kasar, sedangkan struktur mikro *perlit* halus terbentuk dari hasil pendinginan cepat. Baja yang memiliki struktur mikro *perlit* kasar kekuatannya lebih rendah bila dibandingkan dengan baja yang memiliki struktur mikro *perlit* halus.



**Gambar 2.9** Struktur Mikro *Perlit*



#### D. *Martensit*

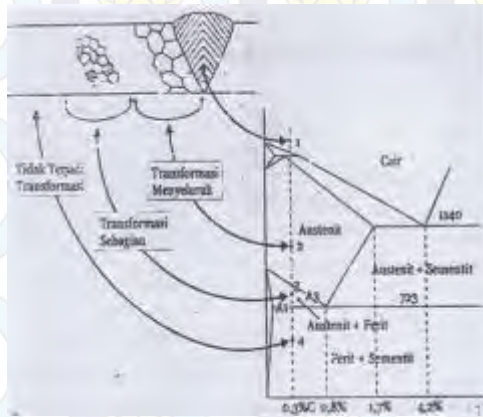
Terbentuk dari pendinginan cepat fasa *austenite* sehingga mengakibatkan sel satuan FCC bertransformasi secara cepat menjadi BCC, unsur karbon yang larut dalam BCC terperangkap dan tetap berada dalam sel satuan itu, hal tersebut menyebabkan terjadinya distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT. Struktur mikro *martensit* seperti bentuk jarum-jarum halus, bersifat keras (20-67) HRC, dan getas.



**Gambar 2.10** Struktur Mikro *Martensit*

#### E. *Austenite* (disimbolkan dengan $\gamma$ )

Memiliki bentuk sel satuan FCC yang mengandung unsur karbon hingga maksimum 1,7%. Transformasi fasa pada daerah pengelasan seperti yang ditunjukkan pada gambar 16, dapat dianalisa secara eksperimental dengan menggunakan diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*), karena kecepatan pendinginan dari temperatur *austenite* sampai ke temperatur ruangan berlangsung secara cepat. Kecepatan pendinginan tersebut berpengaruh pada kekuatan sambungan las, karena akan menentukan fasa akhir yang terbentuk



**Gambar 2.11** Transformasi Fasa Pada Daerah Pengelasan.

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi.

## 2.3 Material

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material SA36 dimana material ini memiliki kandungan komposisi kimia dan sifat mekanik yaitu, ditunjukkan pada tabel 2.1- tabel 2.2.

**Tabel 2.1** Nilai *Chemical Composition*

SA 36					
Chemical Composition					
C	Mn	P	S	Si	Cu
0,25	-	0,04	0,05	0,40	0,20



Dari nilai hasil perhitungan CE (Carbon Equivalent) telah ditentukan bahwa plat SA 36 dengan tebal 10 mm memiliki nilai CE sebesar 0,265%.

**Tabel 2.2** Sifat Mekanik SA 36

SA 36	
Tensile Strengt	
YS (Newton/mm <sup>2</sup> )	TS (Newton/mm <sup>2</sup> )
250	400-550

## 2.4 Sifat Mekanik

Sifat mekanik adalah salah satu sifat terpenting, karena sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan (tentunya juga komponen bahan tersebut) untuk menerima beban/gaya/energi tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan atau komponen tersebut. Sifat logam dapat diketahui dengan cara melakukan pengujian terhadap logam tersebut. Pengujian biasanya dilakukan terhadap spesimen/batang uji dengan bentuk dan ukuran yang standard, demikian juga prosedur pengujian yang dilakukan. Sering kali bila suatu bahan mempunyai sifat mekanik yang baik tetapi kurang baik pada sifat yang lain maka diambil langkah untuk mengatasi kekurangan tersebut dengan berbagai cara. Beberapa sifat mekanik yang penting antara lain :

- A. Kekuatan (*strength*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, tergantung pada jenis bahan yang bekerja, yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi dan kekuatan lengkung.
- B. Kekerasan (*hardness*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggosresan, pengikisan (abrasi), indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*).



## 2.5 Tensile test

Pengujian untuk mengetahui kekuatan yang terjadi pada sambungan logam hasil pengelasan dapat dilakukan dengan pengujian merusak dan pengujian tidak merusak. Pengujian merusak dapat dilakukan dengan uji mekanik untuk mengetahui kekuatan sambungan logam hasil pengelasan, yang salah satunya dapat dilakukan suatu uji tarik yang telah distandarisasi. Kekuatan tarik sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, daerah HAZ, sifat logam las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan. Untuk melaksanakan pengujian tarik dibutuhkan batang tarik. Batang tarik, dengan ukuran-ukuran yang dinormalisasikan, dibuat dari spesimen yang akan diuji. Uji tarik merupakan salah satu dari beberapa pengujian yang umum digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari satu material. Dalam bentuk yang sederhana, uji tarik dilakukan dengan menjepit kedua ujung spesimen uji tarik pada rangka beban uji tarik. Gaya tarik terhadap spesimen uji tarik diberikan oleh mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) yang menyebabkan terjadinya pemanjangan spesimen uji dan sampai terjadi patah. Dalam pengujian, spesimen uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga spesimen uji tersebut patah, kemudian sifat-sifat tarikannya dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma_t = \frac{F}{A_0}$$

Dimana

$\sigma_t$  = Tegangan (N/mm<sup>2</sup>)  
 $F$  = Gaya(N)  
 $A_0$  = Luasan Awal(mm<sup>2</sup>)

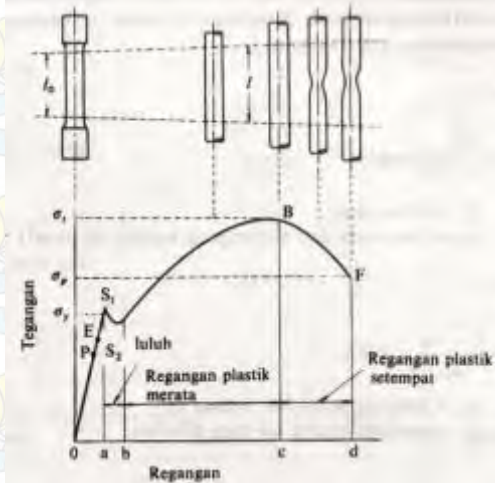
Regangan:

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana:  $L_0$  = panjang mula dari batang uji (mm)

$L$  = panjang batang uji yang dibebani (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat dalam gambar 2.12 Titik P menunjukkan batas dimana hukum Hooke masih berlaku dan disebut batas proporsi, dan titik E menunjukkan batas dimana bila beban diturunkan ke nol lagi tidak akan terjadi perpanjangan tetap pada batang uji dan disebut batas elastic. Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas elastic dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S1 disebut titik luluh atas dan titik S2 titik luluh bawah. Pada beberapa logam batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan-regangan, dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dengan regangan sebesar 0,2%.

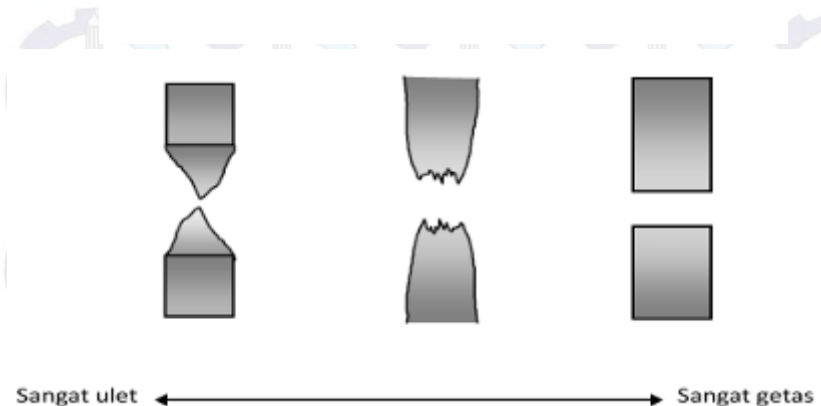


**Gambar 2.12** Kurva tegang-regang teknik

Uji tarik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine*. Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban static dinaikkan secara bertahap sampai spesimen putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan (Mpa) dan regangan (%) yang memberikan informasi data berupa tegangan luluh ( $\sigma_{ys}$ ), tegangan *ultimate* ( $\sigma_{ult}$ ), modulus elastisitas bahan (E), ketangguhan dan keuletan sambungan las yang diuji tarik.

### 2.5.1 Sifat uji Tarik dilihat dari patahan

Dilihat dari specimen yang putus saat pengujian tarik bentuk patahan dari specimen dapat dilihat sebagai berikut digambar bawah ini.



**Gambar 2.13** Sifat Base Metal dari patahan



## 2.6 Hardness Test

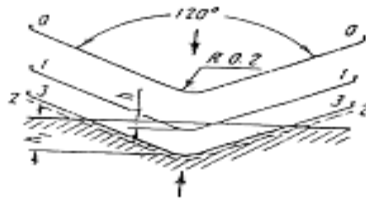
Kekerasan suatu bahan adalah kemampuan sebuah material untuk menerima beban tanpa mengalami deformasi plastis yaitu tahan terhadap identasi, tahan terhadap penggoresan, tahan terhadap aus, tahan terhadap pengikisan (abrasi). Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lain, yaitu strenght (kekuatan). Bahkan nilai kekuatan tarik yang dimiliki suatu material dapat dikonversi dari kekerasannya. Ada beberapa metode pengujian kekerasan yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu :

1. Metode Pengujian Kekerasan Brinell
2. Metode Pengujian Kekerasan Vickers
3. Metode Pengujian Kekerasan Rockwell

Dari ketiga metode tersebut yang sering digunakan hanya dua saja, *Brinell* dan *vickers*, namun pada penelitian kali ini akan menggunakan, metode *Rockwell*.

### 2.6.1 Pengujian kekerasan *Rockwell*

Pada pengujian kekerasan rockwell, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode rockwell dapat digunakan dua bentuk indendor, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan ( *diamond cone* ). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indendor, seperti tercantum pada tabel 2.1. pengujian ini banyak dilakukan di industri karena pelaksanaanya lebih cepat, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada mesin.



**Gambar 2.14** Prinsip Kerja *Rockwell*

Keterangan :

0-0 Posisi sebelum indentasi

1-1 Penetrasi pada saat beban awal  $P_1$

2-2 Penetrasi pada saat beban penuh ( $P_1 + P$ )

3-3 Penetrasi setelah beban utama dilepas  $P_1$

Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi dengan satu huruf depan seperti pada tabel 2.1 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala Rockwell terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h<sub>1</sub>) dapat ditulis sebagai berikut.

$$R_A = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002}$$

$$R_C = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002}$$

**Gambar 2.15** perhitungan *Rockwell*

**Table 2.3** Skala Uji Kekerasan *Rockwell*

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah



## 2.7 Metalography Test

### 2.7.1 Macam-macam cairan etsa

**Table 2.4** Cairan Etsa

<i>NO</i>	<i>NAMA</i>	<i>KOMPOSISI</i>	<i>CARA</i>	<i>PENGGUNAAN</i>
<b>Besi dan Baja (MICRO)</b>				
1.	<i>Nital</i>	<i>HNO<sub>3</sub> : 1-5 ml</i>	<i>Beberapa detik s/d 1 menit</i>	<i>Baja karbon</i>
2.	<i>Picral</i>	<i>Alkohol : 100 ml 95%</i>	<i>Beberapa detik s/d 1 menit</i>	<i>Baja karbon &amp; low alloy hasil heat treatment</i>
3.	<i>Aqua Regia</i>	<i>Picric acid : 4 gr</i> <i>Alkohol : 100 ml 95%</i>  <i>HNO<sub>3</sub> : 20 ml</i> <i>HCl : 60 ml</i>	<i>Beberapa detik</i>	<i>Stainless steel</i>
<b>Besi dan Baja (MACRO)</b>				
1.	<i>Hidrochloric acid</i>	<i>HCl : 50 ml</i> <i>H<sub>2</sub>O : 50 ml</i>	<i>1-60 menit</i>	<i>Crack, porosity dan depth of hardness</i>
2.	<i>Nitric acid</i>	<i>HNO<sub>3</sub> : 0,5 – 1% dalam H<sub>2</sub>O</i>	<i>pada temperatur 75°C</i> <i>30 – 60 detik setelah digrinding baja</i>	<i>Struktur las-lasan</i>
<b>Al Alloy</b>				
1.	<i>Sodium Hidroksida</i>	<i>NaOH : 1 gr</i> <i>H<sub>2</sub>O : 99 ml</i>	<i>10 detik</i>	<i>Umum (micro)</i>
2.	<i>Nitric acid</i>	<i>HNO<sub>3</sub> : 25</i>	<i>Beberapa puluh</i>	<i>Al Fe Si (micro)</i>

3.	<i>Tuckar's</i>	<i>ml</i> <i>HF : 15 ml</i> <i>HCP : 45 ml</i> <i>HNO<sub>3</sub> : 25 ml</i> <i>H<sub>2</sub>O : 25 ml</i>	<i>detik</i>  <i>15 detik</i>	<i>Macro</i>
<i>Cu Alloy</i>				
1.	<i>Aluminium Hidroside</i>	<i>Diluted solution 25% NHuOH (dengan beberapa H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) Saturated aqueous solution (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</i>	<i>Beberapa detik</i>	<i>Brass, bronze</i>
2.	<i>Chromic acid</i>		<i>Beberapa detik</i>	<i>Copper</i>

### 2.7.2 Macam-macam prngujian metalography

Ilmu logam secara garis besar dibagi menjadi 2 yaitu metalurgi dan metalography.

Metalurgi yaitu ilmu yang mempelajari tentang perpaduan logam dengan unsur-unsur tertentu seperti titanium, copper, yang bertujuan untuk memperkuat atau dan menambah ketangguhan logam, yang digunakan untuk berbagai kebutuhan khusus seperti engine blok piston dll.

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan miroskop optis dan mikroskop electron dengan perbesaran 50 – 3000 kali. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan perbesaran tertentu.

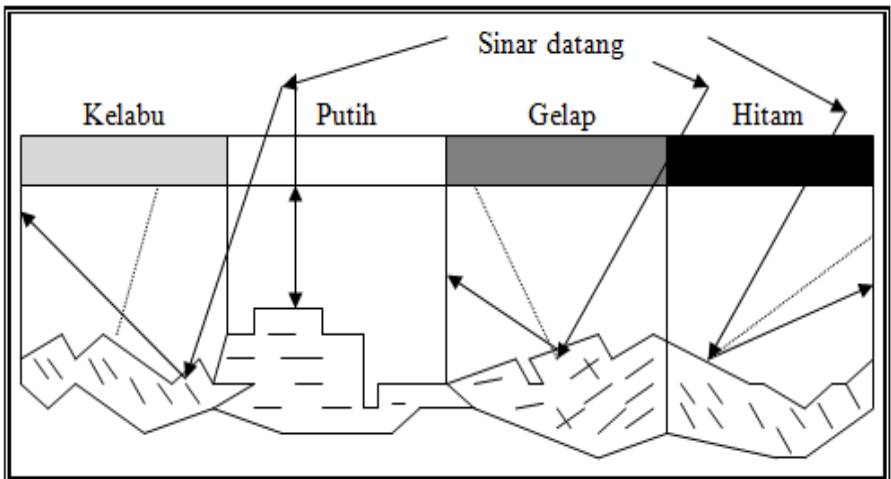
Pengujian metalography dibagi menjadi dua jenis yaitu pengujian makro dan pengujian mikro

A. Pengujian makro

Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu

B. Pengujian mikro

Pengujian mikro bertujuan untuk melihat butiran struktur kristal dari logam yang diuji dengan menggunakan mikroskop mulai perbesaran 50-3000 kali, sehingga dapat diketahui sifat, dan struktur dari logam tersebut.



**Gambar 2.16** Pantulan Sinar Pada *Metalograph Test*





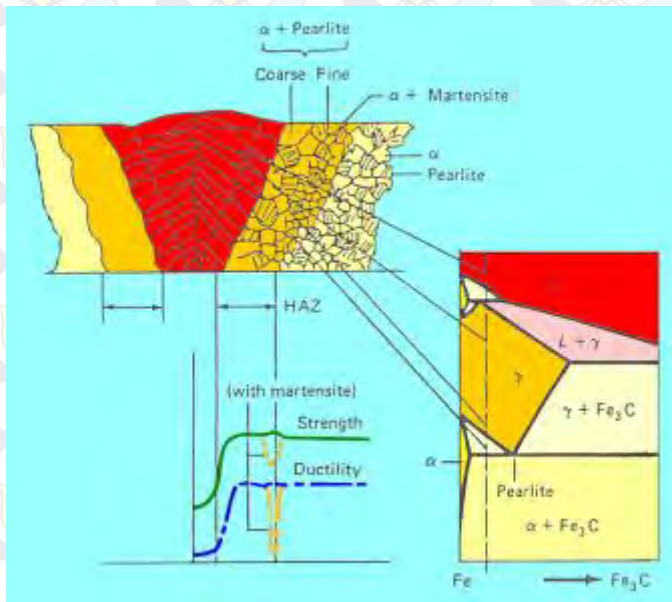
**Gambar 2.17** Alat Penguji Struktur Mikro

Keterangan Gambar :

1. Landasan specimen
2. Lengan pengatur kedudukan
3. Lensa pengatur perbesaran
4. Lensa untuk melihat
5. Tuas pengatur perbesaran

## 2.8 Pengaruh Layer

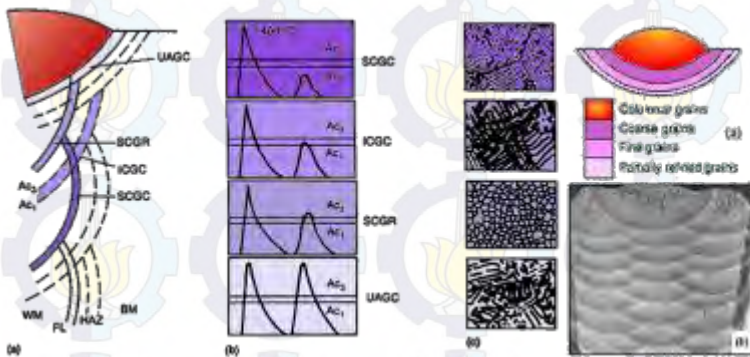
### 2.8.1 Single Layer



**Gambar 2.18** Karakteristik Sambungan Las Pada Single Layer

Gambar 2.18 yang dilampirkan merupakan struktur dari hasil pengelasan *single layer*. Dapat dilihat bahwa kekuatan pada daerah *weld metal* lebih rendah daripada daerah HAZ maupun *base metal*. Sehingga apabila dilakukan pengujian tarik, maka daerah patahan akan berada pada *weld metal* tersebut. Untuk menghindari patahan pada daerah *weld metal* maka diperlukan perbaikan pada WPS pengelasan, sehingga nantinya apabila dilakukan pengujian tarik maka daerah patahan akan bergeser ke daerah HAZ. Sehingga dapat dikatakan sambungan las lolos uji, karena tidak patah pada daerah *weld metal*.

### 2.8.2 Multilayer

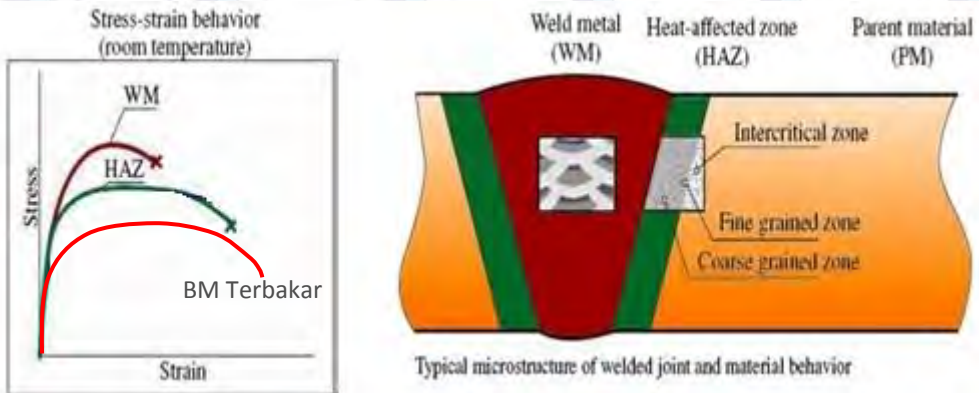


**Gambar 2.19** Typical Heat Cycles 5  $\Delta t$  8/5 (Temperatur 800° – 500°/300° C) Multi Layer

Pengelasan bertumpuk (Multilayer) yaitu proses dimana *layer* kedua memberikan efek *postheat* pada *layer* sebelumnya dan *preheat* bagi *layer* sesudahnya. Pengelasan *multilayer* memberikan efek tempering pada daerah HAZ. Efek *preheat* dan tempering dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan pada hasil las. Sedangkan untuk daerah *Weld Metal* sendiri memiliki kekuatan tarik lebih besar daripada *Base Metal* karena parameter pengelasan yang benar sehingga dari WPS (Welding Procedure System) sudah terpenuhi dan hasil dari pengelasan tidak mengalami cacat las pada sambungan di logam induk.



Perlakuan pengelasan multilayer memberikan sifat mekanis yang berbeda. Pemanasan awal memberikan efek menurunkan kekerasan tetapi menambah keuletan material. Karakteristik HAZ yang terbentuk dari pengelasan multilayer ini sangat berbeda, dimana luas HAZ yang terbentuk ketika pengelasan *fill cover* lebih luas daripada ketika pengelasan *root* sebagai tembusan. Hal ini jugalah yang mempengaruhi sifat mekanis material pengelasan.



**Gambar 2.20** Grafik Kekuatan Multi Layer dan Hasil Pengelasan Multi Layer

Pada grafik dapat dilihat bahwa kekuatan material pada daerah *weld metal* paling tinggi daripada HAZ dan *base metal*. Hal ini merupakan efek dari multi layer yang menyebabkan efek *preheat* dan *postheat* pada pengelasan. Jika pada single layer patahan antara *weld metal* dan HAZ, maka pada multi layer ini *weld metal* daerah terkuat sehingga patahan akan berada pada daerah HAZ, dan bisa memungkinkan akan patah pada daerah *base metal*. Apabila dilakukan pengelasan dengan penggunaan filler yang nilainya sama nilai kekuatan base metal, maka patahan berada pada daerah HAZ. Tetapi jika penggunaan filler yang nilainya diatas *base metal* maka patah akan bergeser ke daerah *base metal*.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 *Flow Chart* Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flow chart, bisa dilihat pada gambar 3.1 diagram di bawah ini.



**Gambar 3.1** *Flow Chart* Diagram

### **3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian**

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester ganjil tahun ajaran 2015/2016 yaitu pada bulan September sampai dengan Januari 2016.

### **3.3 Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di lab uji bahan teknik Kampus d3 Teknik Mesin FTI-ITS

### **3.4 Langkah Kerja**

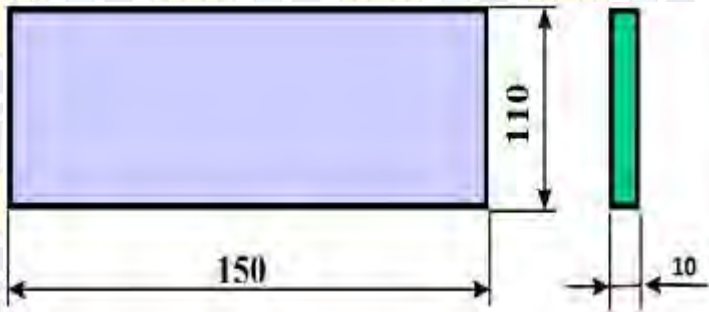
Dalam menyelesaikan tugas akhir ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur tentang konstruksi kapal yaitu Penyambungan plat dengan membedakan variasi arus amper, serta pengujiannya pada sifat mekanis dan ketangguhannya, langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan pada benda uji. Untuk memperjelas, berikut tahapan tahapan yang akan dilakukan.

#### **3.4.1 Studi Literatur**

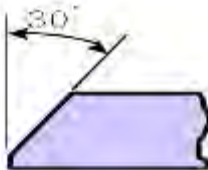
Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

#### **3.4.2 Persiapan material**

Material yang digunakan adalah SA 36 dengan dimensi 150 mm x 110 mm dan tebal 10 mm. Material tersebut disambung dengan kampuh V menggunakan sudut single V groove  $60^0$  seperti gambar dibawah ini:



**Gambar 3.2** Dimensi Material.



**Gambar 3.3** Sudut groove 30°



**Gambar 3.4** Material Dengan Kampuh 30°



**Tabel 3.1** logam induk dan pengisi E 7016

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	SA 36
P-N0	1 group 2
Tebal	10 mm
Weld metal analysis A.no	*)
Spesification (SFA)	5.5
AWS Classification	E 7016 dan E 7016
Filler metal Dia, mm	2,6mm dan 2,6mm
Posisi pengelasan	1G

**Tabel 3.2** Parameter Pengelasan

Parameter	Layer	
	1(Root)	2-4(fill & Caping)
Number/pass	SMAW	SMAW
Proses	SMAW	SMAW
Travel speed,mm/min	1.5	1.4
Amperage	90	90
Polaritas AC/DC	DC(-)	DC(+)
Voltage	27	27
Electrode diameter,mm	2.6	2.6

### 3.4.3 Pengelasan

Pengelasan dilakukukan menggunakan SMAW (*DC+*, *DC-*) posisi 1G dalam penelitian kali ini terdapat perbedaan variasi panas yaitu:

1. Variasi kebakaran suhu 700°C

Pengelasan dilakukan dengan pemberian panas dengan suhu 700°C menggunakan *Oven Furnace*, ketika suhu sudah mencapai 700°C maka suhu tersebut di tahan selama 4 jam kemudian didinginkan didalam oven sesudah *Base Metal* dingin pengelasan untuk layer pertama dapat dilakukan, untuk pengelasan layer kedua

layer pertama harus dibersihkan dari kotoran atau kerak las, dan seterusnya untuk layer berikutnya.

## 2. Variasi Kebakaran suhu 900°C

Pengelasan dilakukan dengan pemberian panas dengan suhu 900°C menggunakan *Oven Furnace*, ketika suhu sudah mencapai 900°C maka suhu tersebut di tahan selama 4 jam kemudian didinginkan didalam oven sesudah *Base Metal* dingin pengelasan untuk layer pertama dapat dilakukan, untuk pengelasan layer kedua layer pertama harus dibersihkan dari kotoran atau kerak las, dan seterusnya untuk layer berikutnya.

Proses pengelasan dilakukan setelah dilukanya pembuatan groove pada masing-masing plat berikut ini proses pengelasan yang dilakukan:



**Gambar 3.5** Proses Pengelasan





**Gambar 3.6** Tank Ampere

#### **3.4.4 Persiapan benda uji**

Spesimen yang diambil harus dari lokasi sampel, sehingga mereka mewakili bahan yang diuji, namun sampling harus sebagian besar sesuai dengan standart ( AWS D1.1 ).

Dalam melakukan tes untuk mensimulasikan benda uji itu penting dan perlu diperhatikan ketebalannya, itu sehubungan dengan arah langkah kerja dari pengujian dan permukaanya, sehingga sesuai dengan aplikasinya.

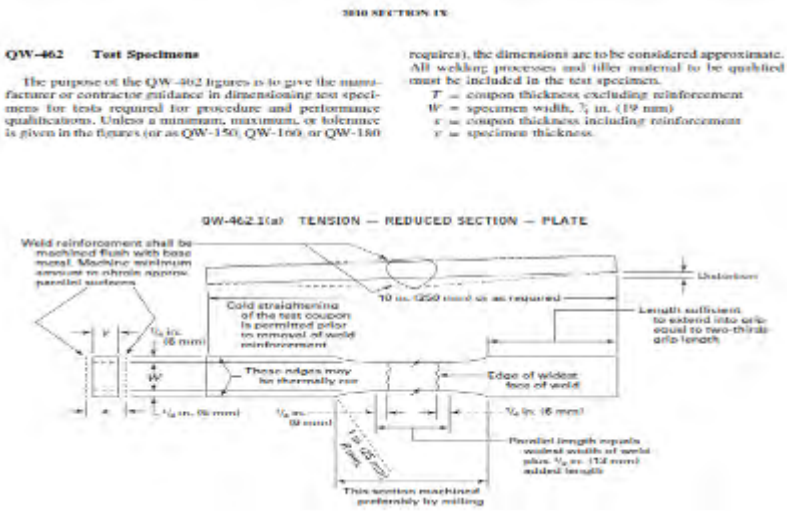
#### **3.4.5 Pengambilan Test Piece**

Untuk pengambilan spesimen, dilakukan dengan memperhitungkan jumlah pengujian yang akan digunakan. Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah Uji tarik (*Tensile*), Kekerasan ( *Hardness* ), dan *Metalography*( *Mikro dan Makro Etsa*)



## A. Pengujian Tarik

Untuk pengujian tarik dilakukan pengambilan spesimen total 6 spesimen yang akan diuji masing-masing variasi berjumlah 3 spesimen yaitu *Base Metal* sebelum di las diberi panas dengan suhu 700 dan 900 derajat celcius. Untuk dimensi spesimen disesuaikan dengan *ASME Section 9* untuk *tensile test*.



**Gambar 3.7** Dimensi Specimen Tarik

Langkah-langkah pengujian Tarik :

1) Menyiapkan specimen

- Ambil spesimen dan jepit pada ragum
- Bersihkan bekas-bekas machining denganikir
- Lakukan langkah diatas untuk seluruh specimen

2) Pengukuran dimensi

- Ambil spesimen ukur dimensinya
- Catat dan beri kode untuk masing -masing specimen.

- Lakukan langkah diatas untuk seluruh specimen

### 3) Pengujian pada spesimen.

- Mencatat data mesin pada benda kerja.
- Penempatan bandul pada posisi awal.
- Atur jarum penunjuk pada posisi 0.
- Ambil specimen dan letakkan pada tempatnya.
- Amati datanya dan catat.
- Ulangi langkah diatas unruk seluruh specimen.

Berikut specimen bahan pengujian Tarik :



**Gambar 3.8** Spesimen uji tarik suhu 700<sup>0</sup>C



**Gambar 3.9** Spesimen uji tarik suhu 900<sup>0</sup>C

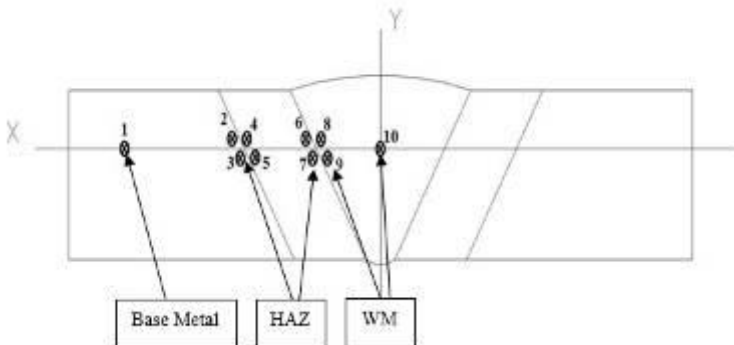
## B. Pengujian Kekerasan.

Dalam pengujian kekerasan, jumlah titik yang diambil ialah 10 titik yaitu pada daerah, 1 *weld metal*, 6 HAZ, dan 3 *base metal*



**Gambar 3.10** Alat Uji Kekerasan *Rockwell*

Merk : AFFRI Seri 206.RT – 206.RTS  
Loading : Maximum 100 KP  
Minimum 10 KP  
Hrb Load : 100 KP  
Indentor : Bola Baja 1/16.



**Gambar 3.11** Lokasi Indentasi Uji Kekerasan



### C. Pengujian Metalography

Untuk proses Metalography test dibagi menjadi 2 yaitu pengamatan makro test dan Mikro tes, namun pada penelitian ini hanya proses makro test saja.

- Makro test  
Bertujuan melihat secara visual hasil dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan, proses pengetsaan yaitu cairan  $\text{HCL} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ., maka bagian Weld Metal, HAZ, dan Base metal akan terlihat.
- Mikro test  
Bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik material dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan melalui kaca pembesar lensa mikroskop. Sehingga dari permukaan bahan logam yang sangat halus dan bersih akan terlihat bentuk Kristal molekul-molekulnya.

Prosedur pengujian metalografi adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen uji  
Benda kerja di belah menjadi dua. Dalam penelitian tugas akhir ini, pengujian metalografi dilakukan pada 2 bidang pada satu spesimen.
2. Penggosokan dilakukan pada permukaan spesimen uji secara bertahap, penggosokan dilakukan menggunakan mesin gerinding dengan tingkat kekasaran kertas gosok mulai dari 180, 220, 500, 800, 1000, 1500 dengan disertai aliran air pendingin. Fungsinya adalah untuk melautkan geram. Setelah menggunakan kertas gosok, spesimen dipoles dengan menggunakan autosol dan kain jeans.
3. Spesimen yang sudah mengkilap disterilkan terlebih dahulu dengan alkohol. Kemudian direndam dalam cairan etsa selama  $\pm 5$  menit sampai *weld metal*, *HAZ*, dan *base metal* terlihat. Kemudian spesimen

dikeringkan dengan *hair dryer* dengan cepat. Berikut alat dan bahan yang digunakan untuk pengetsaan benda uji ( *Test piece* ) :



**Gambar 3.12** Spesimen sebelum di etsa



**Gambar 3.13** Alat dan bahan untuk proses etsa



**Gambar 3.14** Larutan Etsa



**Gambar 3.15** Kertas Gosok

4. Pengambilan gambar makro dan mikro spesimen.



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana pengaruh perbedaan variasi pemberian suhu panas pada baja SA36 yang akan dilakukan proses pengelasan melalui 3 pengujian , yaitu *Tensile Test* , *Hardness Test*, *Metalography Test*.

### 4.1 *Tensile Test* ( Uji Tarik )

Pada pengujian tarik ini 3 spesimen untuk untuk masing-masing variasi suhu kebakaran dengan 3 spesimen antara suhu 700 dan suhu 900 derajat celcius didapat hasil sebagai berikut:

**Tabel 4.1** Hasil Uji Tarik Sebelum Terbakar

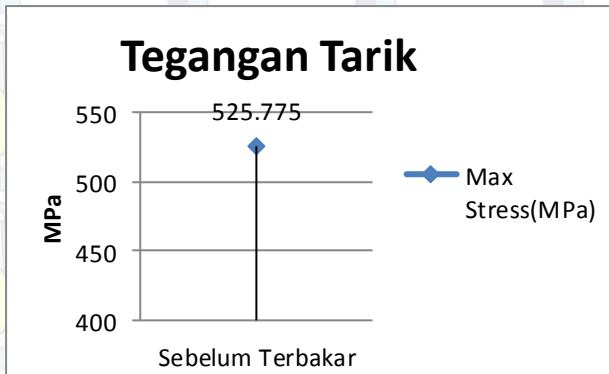
Spesimen	Yield Force ( kN )	Yield Stress ( MPa )	Max Force ( kN )	Luas Area ( mm <sup>2</sup> )	Max Stress ( MPa )
Sebelum Terbakar	63.94	399.94	82.67	159.88	517.05
	73.54	407.02	95.07	180.69	526.13
	70.02	389.97	94.34	179.55	525.42
Rata - rata	71.78	398.495	94.705	180.12	525.775

Data diatas didapat dari Fahrudy Dwi W. :2016. *“Pengaruh Variasi Ampere 90 Dan 110 Terhadap Sifat Mekanik Material SA36 Yang Disambung Dengan Metode Pengelasan SMAW Arus DC”*.

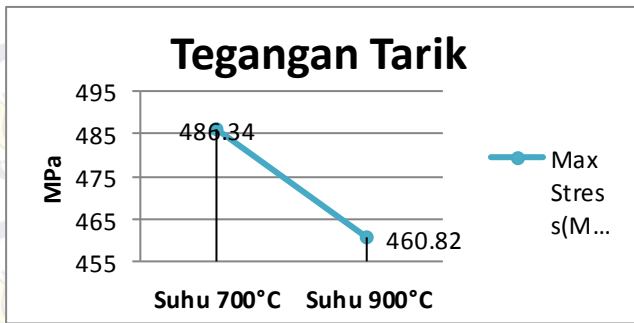
**Tabel 4.2 Hasil Uji Tarik**

Spesimen	Yield Force ( kN )	Yield Stress ( MPa )	Max Force ( kN )	Luas Area ( mm <sup>2</sup> )	Max Stress ( MPa )
Suhu 700°C	63.91	337.37	89.93	189.44	474.71
	68.81	363.24	93.60	189.43	494.04
	76.36	420.60	89.00	181.54	490.23
Rata – rata	<b>69.693</b>	<b>373.736</b>	<b>90.84</b>	<b>186.803</b>	<b>486,34</b>
Suhu 900°C	57.08	349.25	76.14	163.45	465.82
	57.06	349.73	74.24	163.15	455.02
	63.51	389.73	75.22	162.96	461.62
Rata – rata	<b>59.216</b>	<b>362.903</b>	<b>75.20</b>	<b>163.186</b>	<b>460,82</b>

Jika dilihat dari tabel antara hasil uji material sebelum terbakar, dan material setelah kebakaran suhu 700°C dan suhu 900°C dapat dilihat grafiknya seperti di bawah.



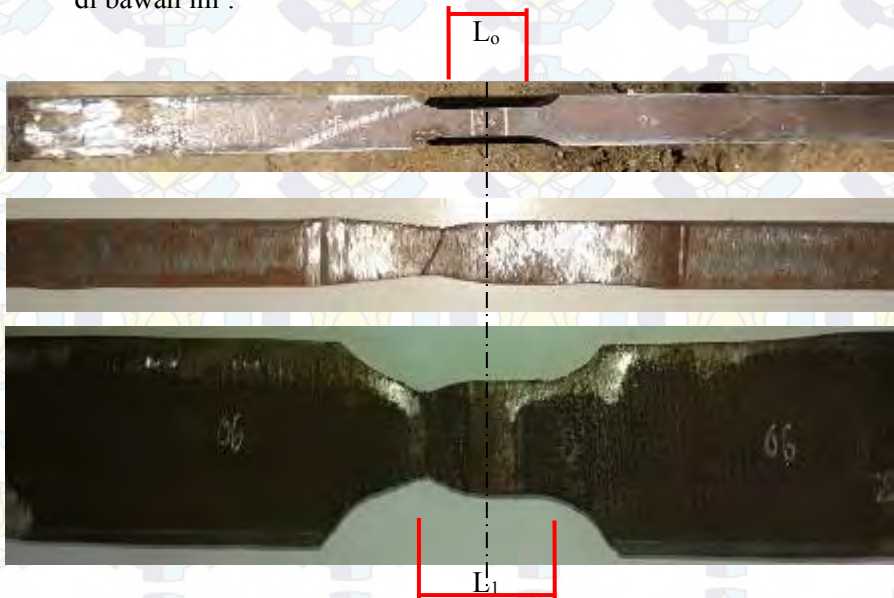
**Gambar 4.1** Grafik Rata – rata Tegangan Tarik Pada Spesimen Sebelum Terbakar



**Gambar 4.2** Grafik Rata – rata Tegangan Tarik Pada Spesimen Suhu 700°C dan 900°C

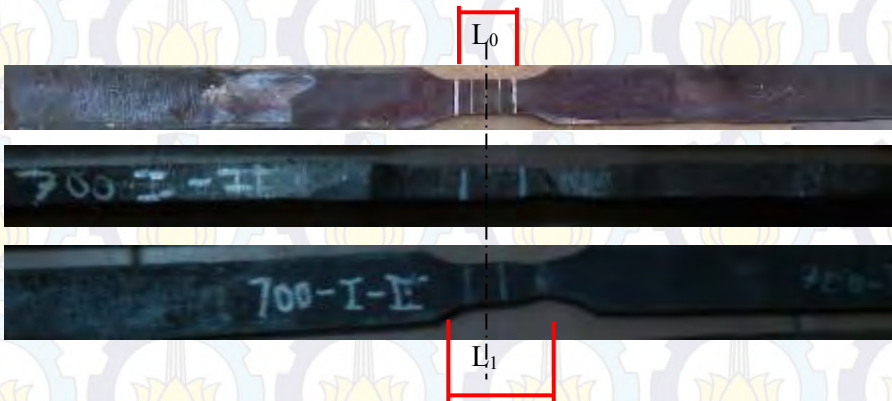
Jadi jika dilihat dari grafik di atas bahwa tegangan tarik terbesar berada pada spesimen suhu 700°C yaitu 486,34 MPa, dan pada spesimen pada suhu 900°C mengalami penurunan tegangan tarik.

Untuk mencari regangan maka dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

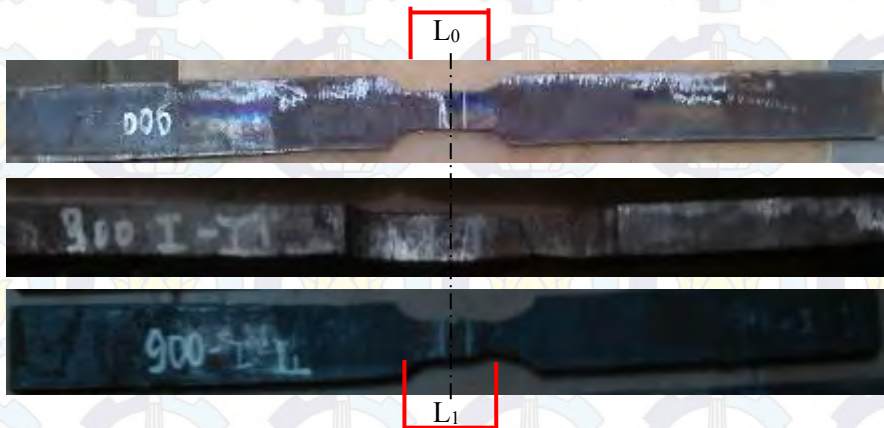


**Gambar 4.3** panjang lo dan panjang l1 Sebelum Terbakar





**Gambar 4.4** panjang  $L_0$  dan panjang  $L_1$  suhu  $700^{\circ}\text{C}$



**Gambar 4.5** panjang  $L_0$  dan panjang  $L_1$  suhu  $900^{\circ}\text{C}$

- Regangan:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \%$$

Dimana :

- $\epsilon$  = Regangan ( % )
- $\Delta L$  = Perpanjangan ( mm )
- $L_0$  = Panjang awal ( mm )

**Tabel 4.3** Nilai Regangan

Suhu	L0 ( mm )	L1 ( mm )	$\Delta L$ ( mm )	$\varepsilon$ ( % )
<b>Sebelum Terbakar</b>	27	32.4837	5.4837	20.31
	27	31.845	4.8465	17.95
	27	31.3362	4.3362	16.06
Rata-Rata				18.3
<b>Suhu 700°C</b>	27	31.0608	4.0608	15.04
	27	30.607	3.6072	13.36
	27	29.079	2.079	7.70
Rata-Rata				12.03
<b>Suhu 900°C</b>	27	31.608	4.6089	17.07
	27	30.696	3.6963	13.69
	27	31.0662	4.0662	15.06
Rata-Rata				15.27

Dilihat dari specimen yang putus saat pengujian tarik bentuk patahan dari spesimen dapat dilihat sebagai berikut :



**Gambar 4.6** Bentuk Patahan Spesimen Sebelum Tebakar



**Gambar 4.7** Bentuk Patahan Spesimen Suhu 700°C



**Gambar 4.8** Bentuk Patahan Spesimen Suhu 900°C

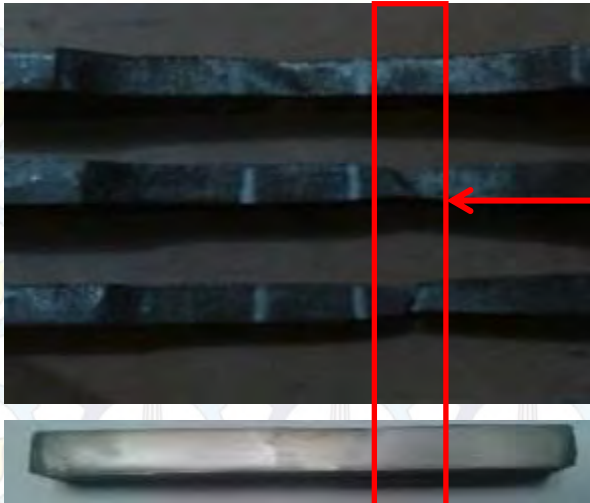


Dari 3 gambar hasil patahan spesiemen uji Tarik , dilihat dari bentuk putusnya dapat dikatakan bahwa material SA36 bersifat *ductile*



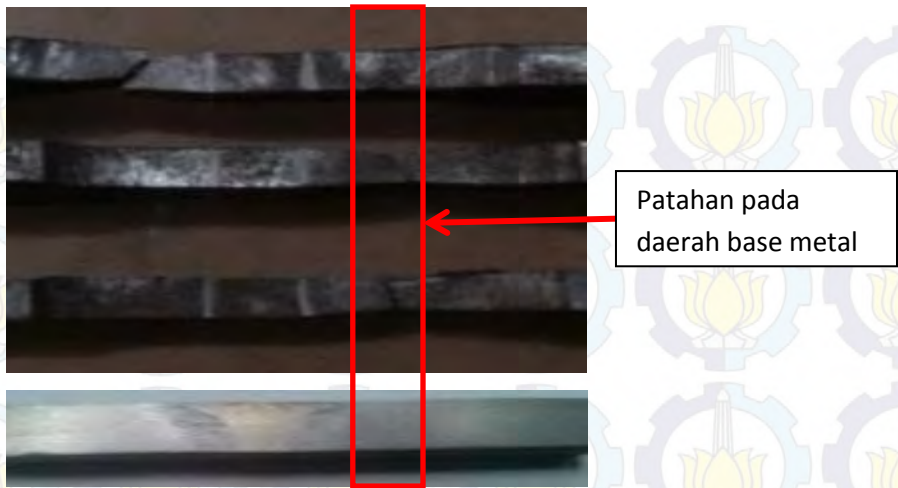
Patahan pada daerah base metal

**Gambar 4.9** Daerah Patahan Spesimen Sebelum Terbakar Pada Daerah Base Metal



Patahan pada daerah base metal

**Gambar 4.10** Patahan Spesimen Suhu 700°C Pada Daerah Base Metal



**Gambar 4.11** Patahan Spesimen Suhu 900°C Pada Daerah Base Metal

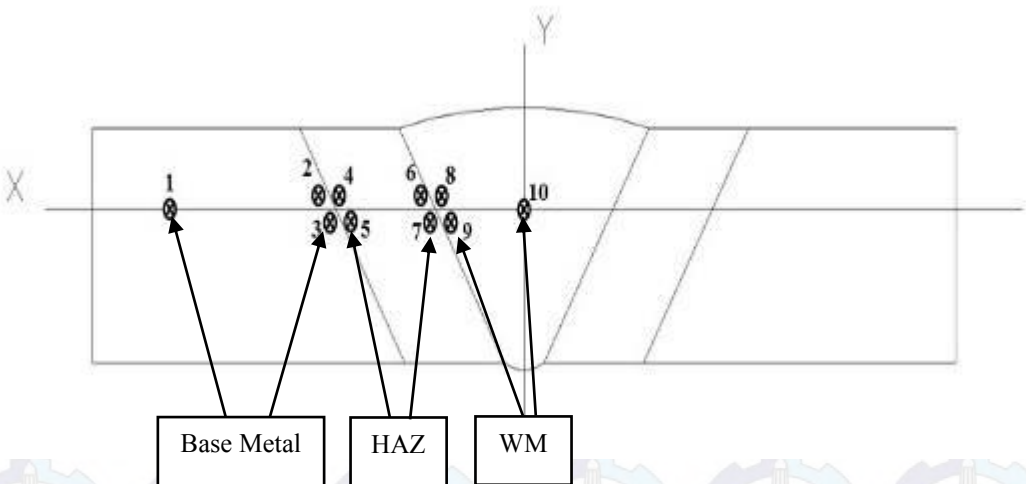
Dari data yang sudah ada bahwa rata-rata hasil pengujian tarik antara sambungan las pengelasan SMAW menggunakan material SA 36 yang sebelumnya terbakar dengan suhu 700°C dan 900°C selama 4 jam masing-masing ialah sebesar 486,34 N/mm<sup>2</sup> untuk Material SA 36 dengan variasi suhu kebakaran 700°C dan 460,88N/mm<sup>2</sup> untuk Material SA 36 dengan variasi suhu kebakaran 900°C. Bisa kita simpulkan bahwa variasi suhu kebakaran pada material sebelum pengelasan mempengaruhi nilai dari hasil pengujian Tarik dan dapat dilihat dari semua bentuk patahannya di atas bahwa material SA36 bersifat *ductile*.

Untuk semua daerah putusnya pada daerah *Base Metal*. Karena pada proses awal pengelasan terjadi proses Multi layer dimana *layer* kedua memberikan efek *postheat* pada layer sebelumnya dan *preheat* bagi layer sesudahnya. Pengelasan *multi layer* memberikan efek tempering pada daerah HAZ. Efek *preheat* dan *postheat* dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan pada hasil las. Sedangkan untuk daerah *Weld Metal* sendiri memiliki kekuatan tarik lebih besar daripada *Base Metal* karena parameter pengelasan yang benar sehingga dari WPS (Welding Prosedure System) sudah terpenuhi dan hasil dari pengelasan tidak mengalami cacat las pada sambungan di logam induk.

#### 4.2 Hardness Test ( Uji Kekerasan )

Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen sebanyak 3x pengujian di garis yang sama dengan menggunakan 3 bidang spesimen yang berguna untuk mencari kepastian nilai kekerasan. Selain itu hasil patahan dari uji tarik akan diamati juga.

Bentuk spesimen patahan hasil uji tarik pada gambar daerah *salib sumbu* sebagai acuan untuk uji kekerasan. Bentuk pengujian kekerasan pada spesimen menggunakan letak indentasi seperti gambar di bawah ini.



**Gambar 4.12** Letak Indentasi Material Sebelum Terbakar

Dari pengujian kekerasan diperoleh data sebagai berikut :  
Dimana

BM	= Base Metal
HAZ	= Heat Active Zone
WM	= Weld Metal



#### 4.2.1 Nilai Kekerasan Sebelum Terbakar

**Tabel 4.4** Data Hasil uji Kekerasan Sebelum Terbakar

LOKASI INDENTASI (PENGUJIAN)											
Varian		Basis Metal				HAZ				Weld Metal	
Sebelum Terbakar	Batas	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 6	Titik 7	Titik 8	Titik 9	Titik 10
	1	79	82	84	88	87,5	87,5	88	88	90	86
	2	80	81	84	89	88,5	87	90	89	92	87
	3	82	82,5	84,5	85,5	86,5	87,5	88	87,5	89,5	86
Rata-rata		80,33	81,83	84,16	87,5	88,16	87,16	88,66	88,16	90,5	86,33

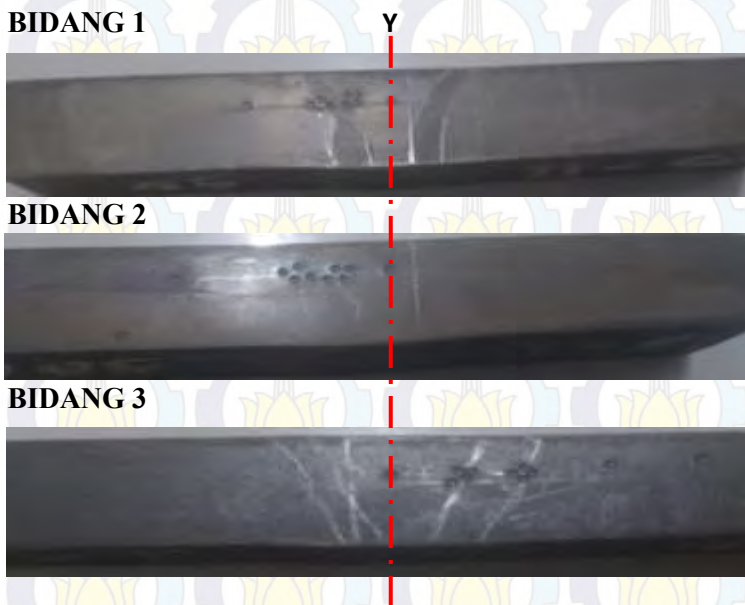
Data diatas didapat dari Fahrudy Dwi W. :2016.  
*“Pengaruh Variasi Ampere 90 Dan 110 Terhadap Sifat Mekanik Material SA36 Yang Disambung Dengan Metode Pengelasan SMAW Arus DC”*.

Untuk lebih jelasnya letak indentasi pada spesimen dapat dilihat di gambar di bawah

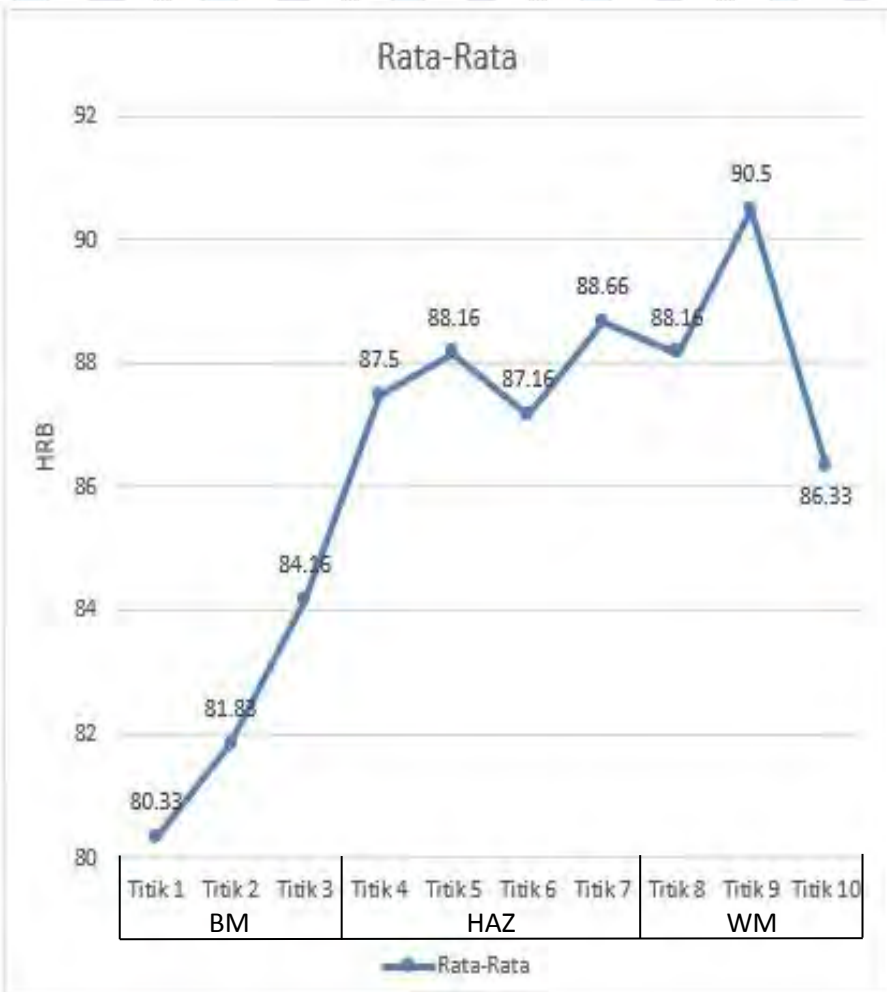
Letak indentasi untuk Base Metal sebelum terbakar



**Gambar 4.13** Letak acuan indentasi BM Sebelum Terbakar



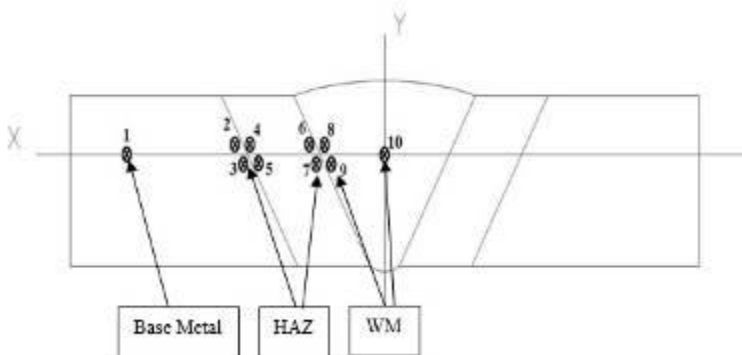
**Gambar 4.14** Bidang Segaris BM Sebelum Terbakar



**Gambar 4.15** Grafik Rata-Rata BM Sebelum Terbakar



#### 4.2.2 Nilai Kekerasan Sesudah Terbakar



**Gambar 4.16** Letak Indentasi Material Suhu 700°C dan 900°C

**Tabel 4.5** Data Hasil uji Kekerasan Sesudah Terbakar

LOKASI INDENTASI (PENGUJIAN)											
Variasi		Base Metal	HAZ						Weld Metal		
Suhu 700°C	Bidang	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 6	Titik 7	Titik 8	Titik 9	Titik 10
	1	84	88	89	88	90	88,5	86,5	86	85,5	85
	2	73	81	85,5	84	87,5	86,5	86	88	87,5	84
	3	71	77	82	84,5	84	84,5	84	87	89	85
Rata-rata		76	82	85,5	85,5	87,5	86,5	85,5	87	87,5	84,5
Suhu 900°C	1	74	83	85	86	86	89	91,5	92	91,5	92
	2	73,5	80,5	83	80,5	85,6	85	86,5	88,5	88	86
	3	73,5	79,8	80,2	84	85	85,5	86	87	82,5	84
Rata-rata		73,66	81,1	82,23	83,5	85,53	86,5	88	89,16	87,33	87,33

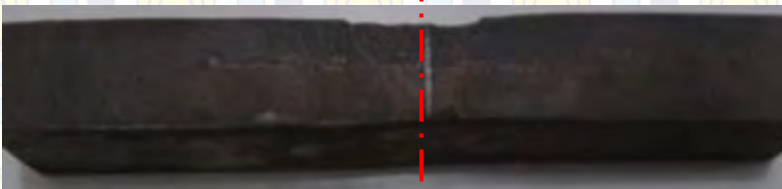
Letak indentasi untuk variasi suhu kebakaran 700°C



**Gambar 4.17** Letak acuan indentasi suhu 700°C

**BIDANG 1**

**Y**



**BIDANG 2**



**BIDANG 3**



**Gambar 4.18** Bidang Segaris suhu 700°C





Letak indentasi untuk variasi suhu kebakaran 900°C



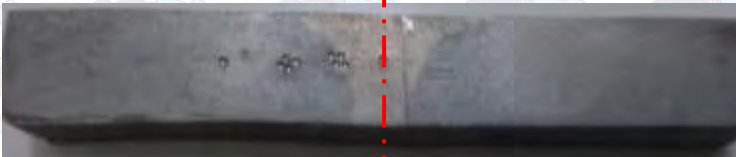
**Gambar 4.20** Letak acuan indentasi suhu 900°C

**BIDANG 1**

**Y**



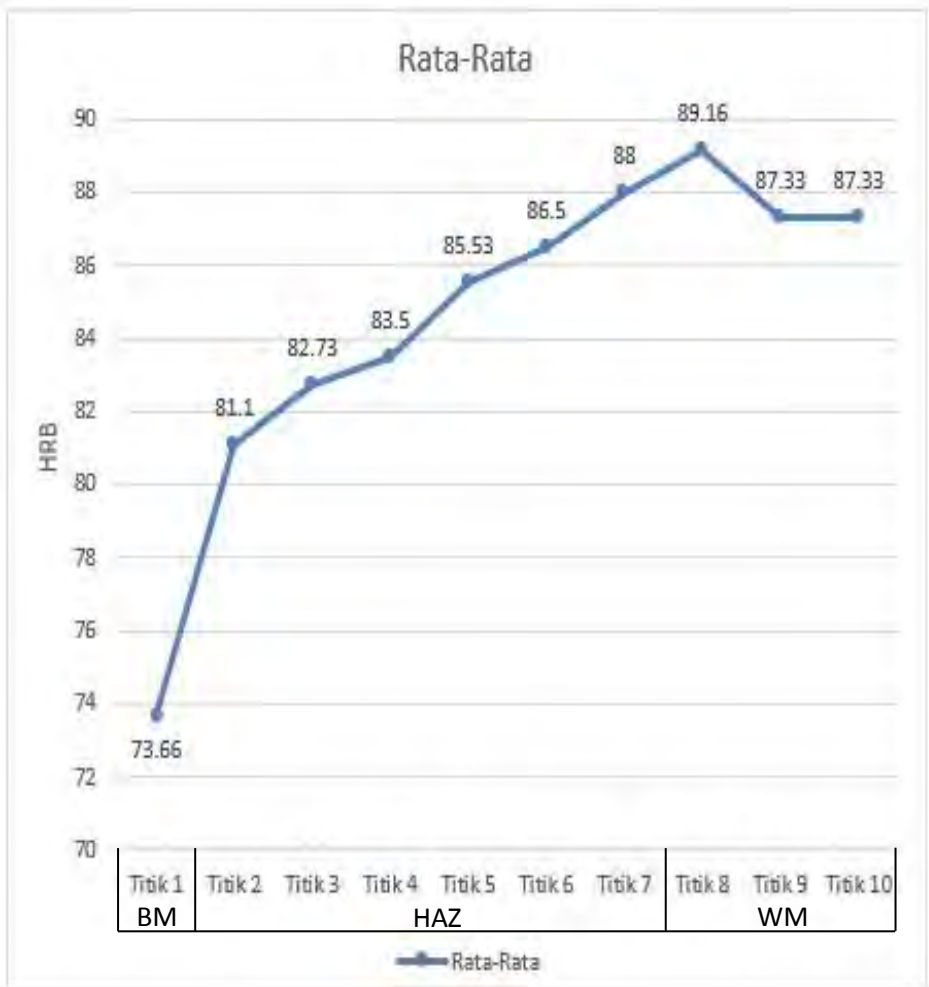
**BIDANG 2**



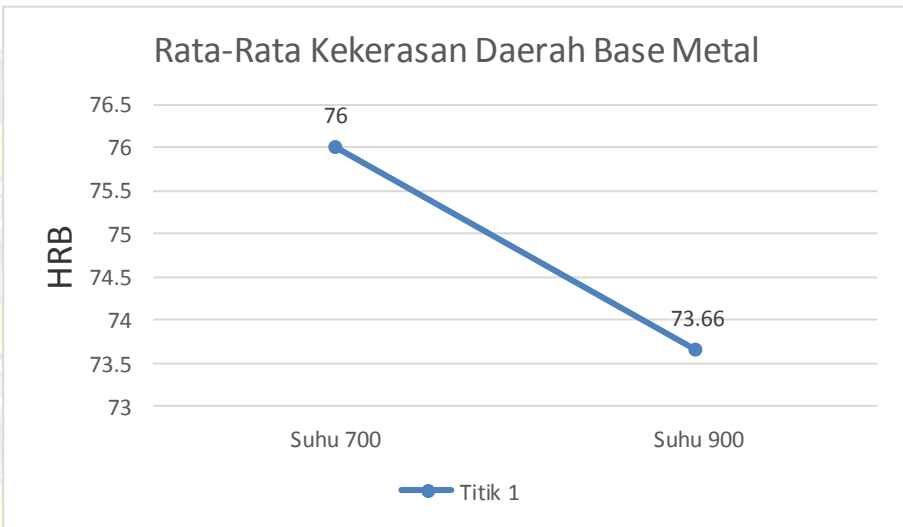
**BIDANG 3**



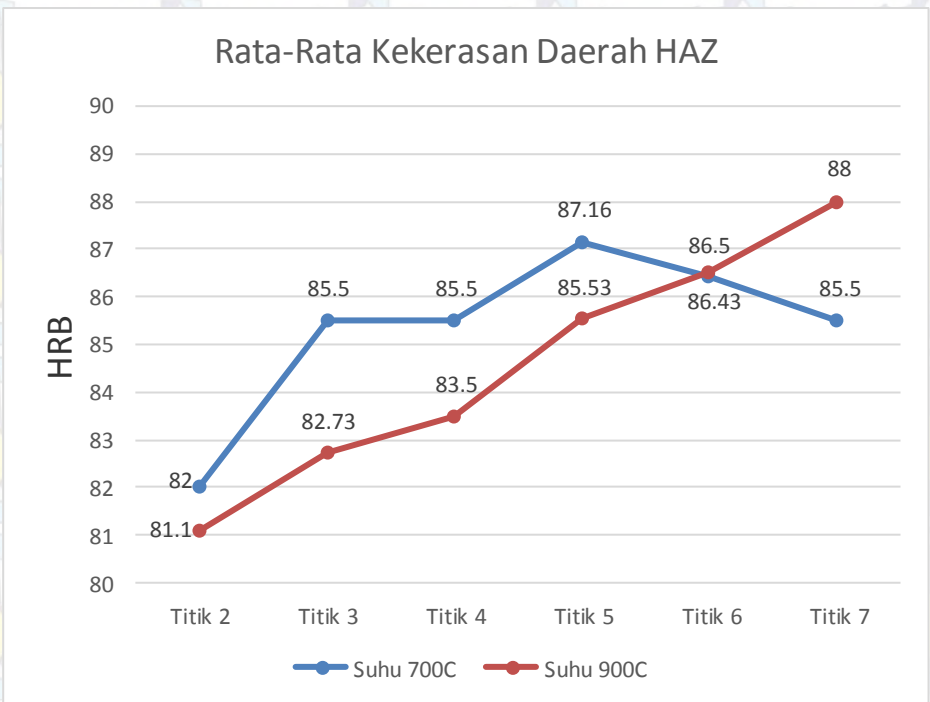
**Gambar 4.21** Bidang Segaris suhu 900°C



**Gambar 4.22** Grafik Rata-Rata BM suhu 900°C

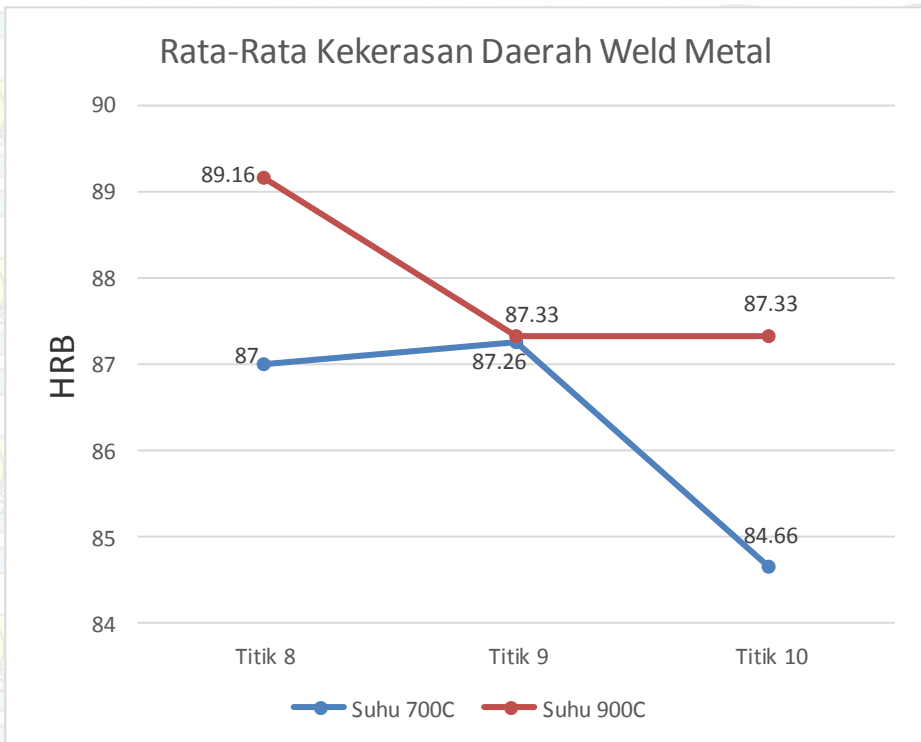


**Gambar 4.23** Grafik Rata-Rata Nilai Uji Kekerasan Base Metal



**Gambar 4.24** Grafik Rata-Rata Nilai Uji Kekerasan HAZ





**Gambar 4.25** Grafik Rata-Rata Nilai Uji Kekerasan WM

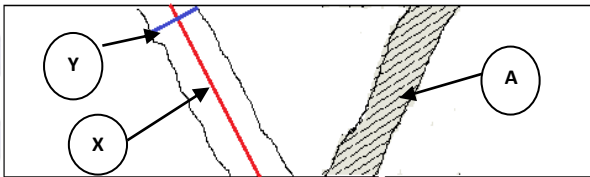
Jadi rata-rata nilai kekerasan yang ditinjau letak indentasinya terletak pada *Base Metal*, *HAZ* dan *Weld Metal* dari sambungan las Material SA 36 yang sebelumnya sudah terbakar dengan suhu kebakaran 700 dan 900 Derajat Celcius nilai kekerasannya semakin menurun seiring dengan tingginya suhu kebakaran.

### 4.3 Metallography Test ( Uji Metalografi)

Pada pengujian metalografi ini yang akan dilihat struktur mikronya yaitu daerah perbatasan antara *base metal*, HAZ , *weld metal* serta ditambah masing masing daerah *base metal*, HAZ , *weld metal*.

#### 4.3.1 Pengujian Makro

Hasil pengujian makro dapat dilihat pada gambar di bawah. Maka untuk mengetahui lebar dari masing-masing HAZ dilakukan permisalan yang akan dijelaskan pada gambar berikut.



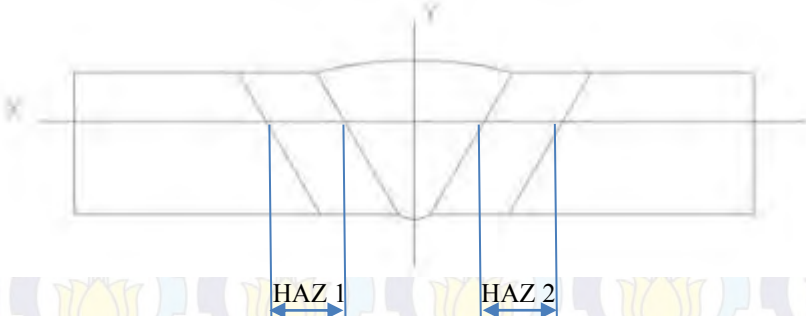
**Gambar 4.26** Sketsa Daerah HAZ

Keterangan :

A = Luas HAZ (daerah yang diarsir)

X = Panjang Acuan HAZ (garis warna merah)

Y = Lebar rata-rata HAZ ( garis biru)

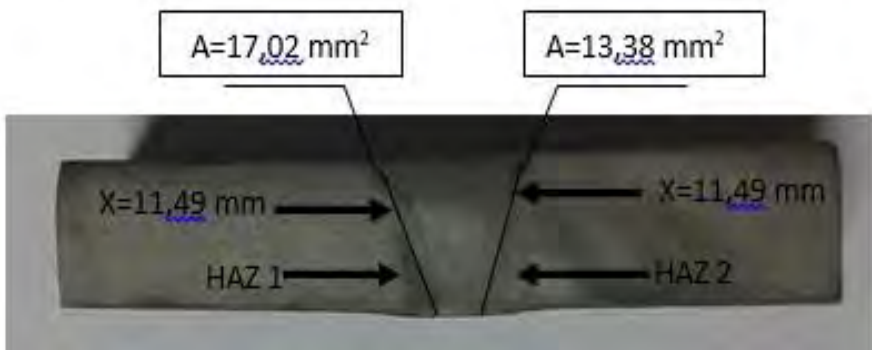


**Gambar 4.27** Acuan Lebar HAZ

Agar kita bisa melihat hasil dari pengujian metalografi maka dilakukan proses pengetsaan yang menggunakan larutan Alkohol+HNO<sub>3</sub> dengan perbandingan 95:5, pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual hasil dari las meliputi base metal, HAZ, dan weld metal. Bagaimana luas dari HAZ, apakah terjadi perbedaan luasan HAZ antar variasi pemberian panas yang dilakukan. Untuk lebih jelasnya akan ditampilkan hasil dari lebar rata rata keseluruhan dari HAZ dalam tabel berikut ini beserta grafiknya.

Data Lebar HAZ BM Normal didapat dari Fahrudy Dwi W. :2016. *“Pengaruh Variasi Ampere 90 Dan 110 Terhadap Sifat Mekanik Material SA36 Yang Disambung Dengan Metode Pengelasan SMAW Arus DC”*.

BIDANG BM Sebelum Terbakar(BM Normal)



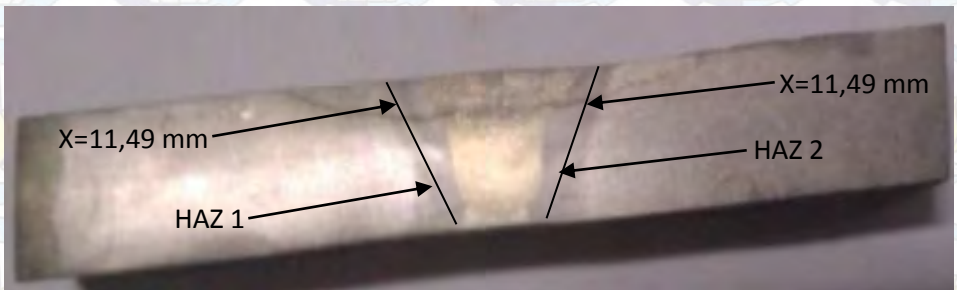
**Gambar 4.28** Lebar rata - rata HAZ BM Sebelum Terbakar



**Tabel 4.6** Lebar rata - rata HAZ 1 dan HAZ BM Sebelum Terbakar

Benda Uji	Lebar HAZ					
	Lebar HAZ 1			Lebar HAZ 2		
	A	X	Y	A	X	Y
Sebelum						
Terbakar	17,02mm <sup>2</sup>	11,49mm	1,36mm	13,38mm <sup>2</sup>	11,49mm	1,04mm

BIDANG BM Variasi suhu 700°C

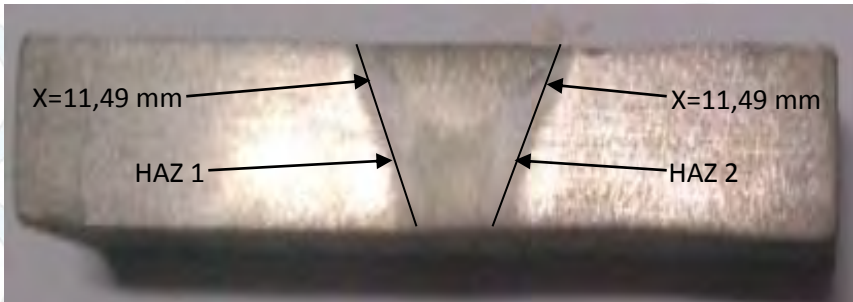


**Gambar 4.29** Lebar HAZ Suhu 700°C

**Tabel 4.7** Lebar rata - rata HAZ 1 dan HAZ 2 Suhu 700°C

Benda Uji	Lebar HAZ					
	Lebar HAZ 1			Lebar HAZ 2		
	A	X	Y	A	X	Y
Suhu						
700 C	22,98mm <sup>2</sup>	11,49mm	2mm	25,27mm <sup>2</sup>	11,49mm	2,2mm

BIDANG BM Variasi suhu 900°C



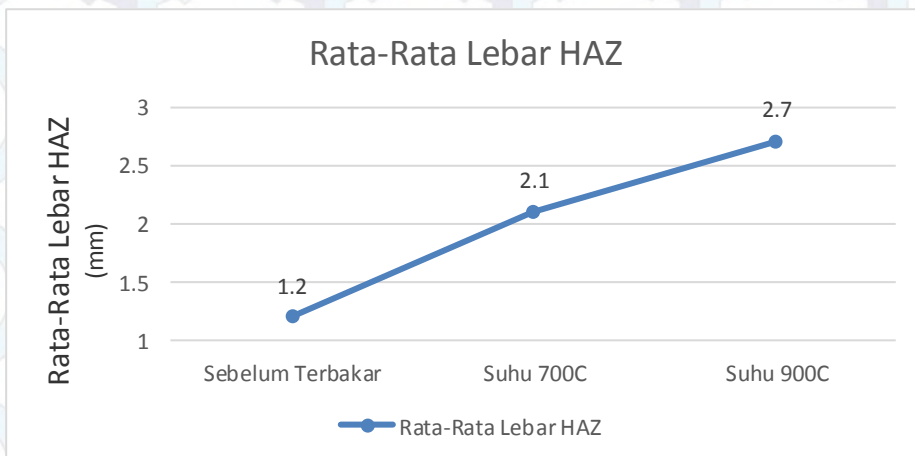
**Gambar 4.30** Lebar HAZ Suhu 900°C

**Tabel 4.8** Lebar rata - Rata HAZ 1 dan HAZ 2 Suhu 900°C

Benda Uji	Lebar HAZ					
	Lebar HAZ 1			Lebar HAZ 2		
	A	X	Y	A	X	Y
Suhu 900 C	28,83mm <sup>2</sup>	11,49mm	2,51mm	33,32mm <sup>2</sup>	11,49mm	2,9mm

**Tabel 4.9** Lebar rata-rata HAZ

Benda Uji	Lebar HAZ 1 (mm)	Lebar HAZ 2 (mm)	Lebar HAZ Rata-Rata (mm)
Sebelum Terbakar	1,36	1,04	1,2
Suhu 700°C	2	2,2	2,1
Suhu 900°C	2,51	2,9	2,7



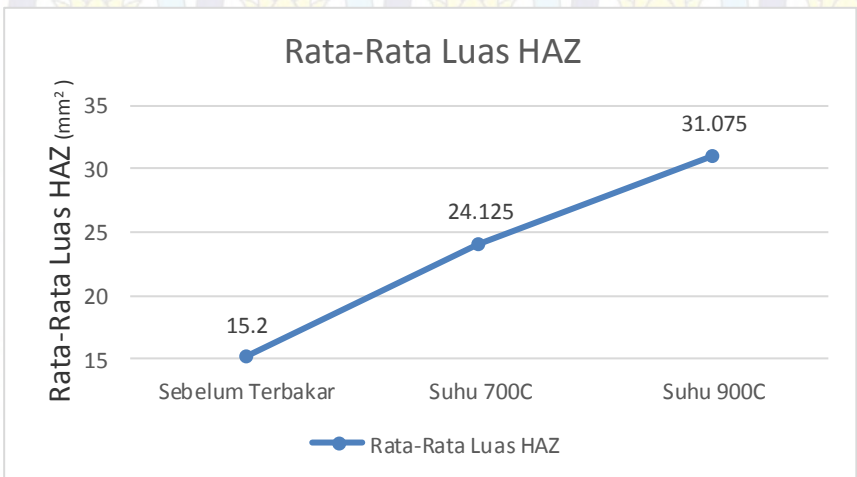
**Gambar 4.31** Grafik Lebar rata-rata HAZ



Untuk mempermudah agar kita bisa membandingkan data dari keseluruhan luas HAZ maka di dapat luas keseluruhan rata-rata total HAZ bisa digambarkan dalam grafik berikut :

**Tabel 4.10** Luas rata-rata HAZ

Benda Uji	Luasan HAZ (mm <sup>2</sup> )		
	Luasan HAZ 1	Luasan HAZ 2	Rata-Rata Luas HAZ
Sebelum Terbakar	17,02	13,38	15,2
Suhu 700°C	22,98	25,27	24,125
Suhu 900°C	28,83	33,32	31,075



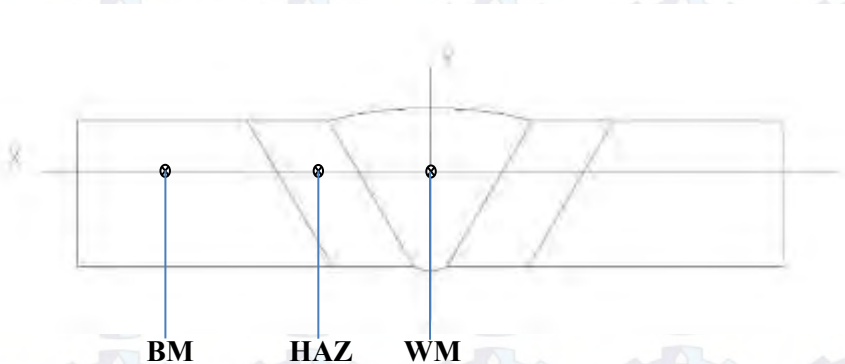
**Gambar 4.32** Grafik Luas rata-rata HAZ

Lebar dari HAZ sendiri tergantung dari beberapa factor parameter pengelasan salah satunya Heat Input dan temperature awal pengelasan, dari proses pengelasan itu sendiri dilakukanlah penilitian yang membedakan variasi temperature panas.

Didalam peneletian yang dilakukan bahwa Benda uji yang sudah terbakar dengan suhu yang paling tinggi sebelum proses pengelasan membuat luas HAZ semakin luas sedangkan benda uji yang sebelum terbakar mempunyai luas HAZ semakin kecil.

### 4.3.2 Pengujian Mikro

Untuk pengujian mikro maka didapatkan hasil acuan letak uji sebagai berikut

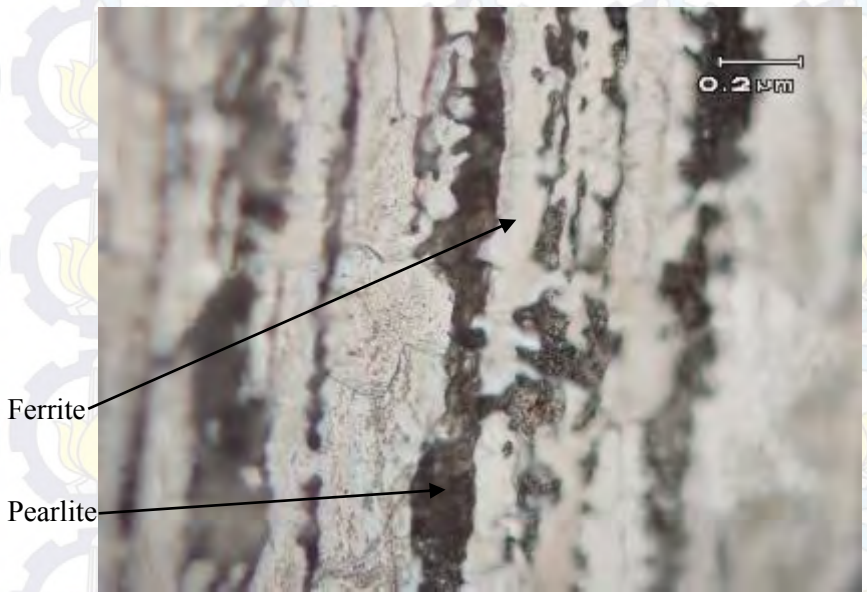


**Gambar 4.33** Daerah Yang Akan Dimikroskop

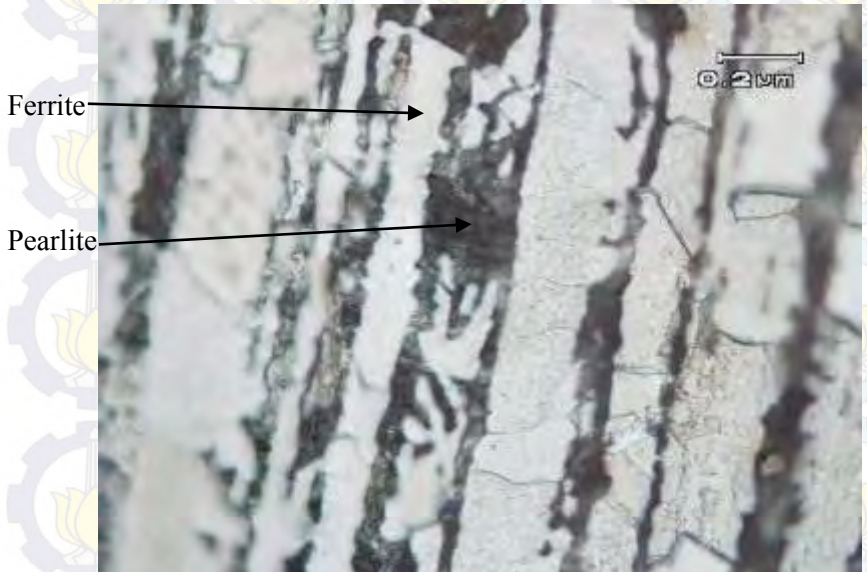
Untuk hasil pengujian mikroskop akan dibandingkan antara suhu  $700^{\circ}\text{C}$  dengan suhu  $900^{\circ}\text{C}$  seperti gambar di bawah :



**Gambar 4.34** *Base Metal* Sebelum Terbakar 500X

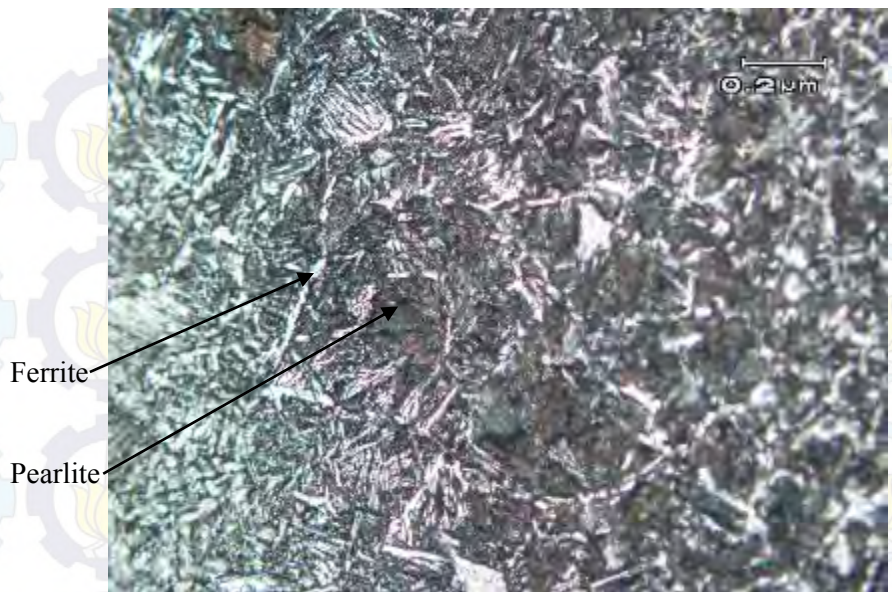


**Gambar 4.35** Base Metal Suhu 700°C 500X

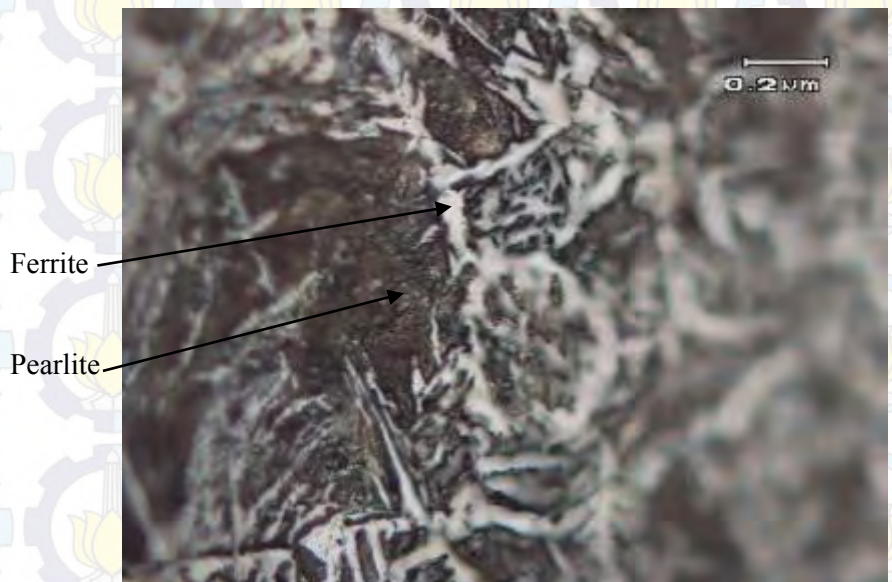


**Gambar 4.36** Base Metal Suhu 900°C 500X

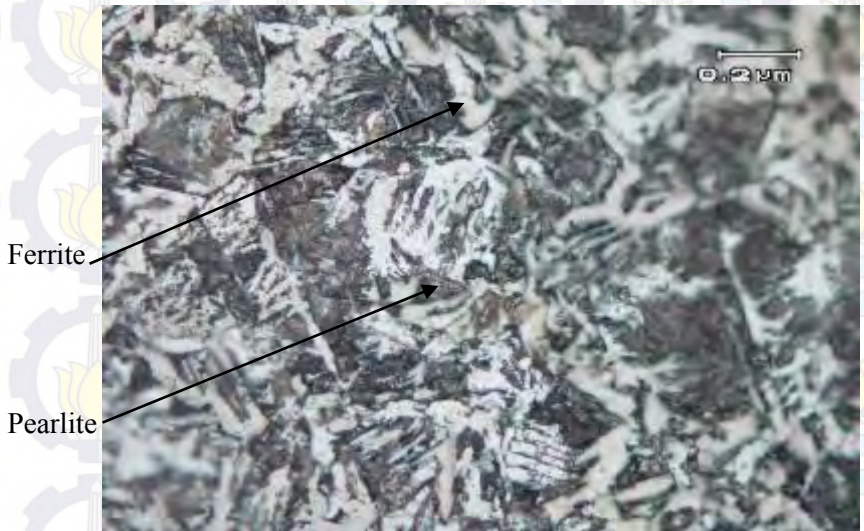




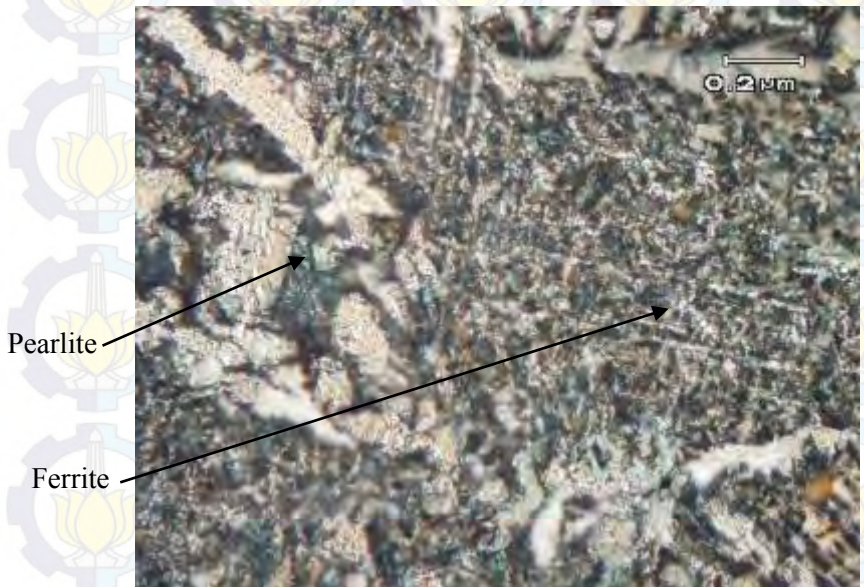
**Gambar 4.37** HAZ Sebelum Terbakar 500X



**Gambar 4.38** HAZ Suhu 700°C 500X



**Gambar 4.39** HAZ Suhu 900°C 500X

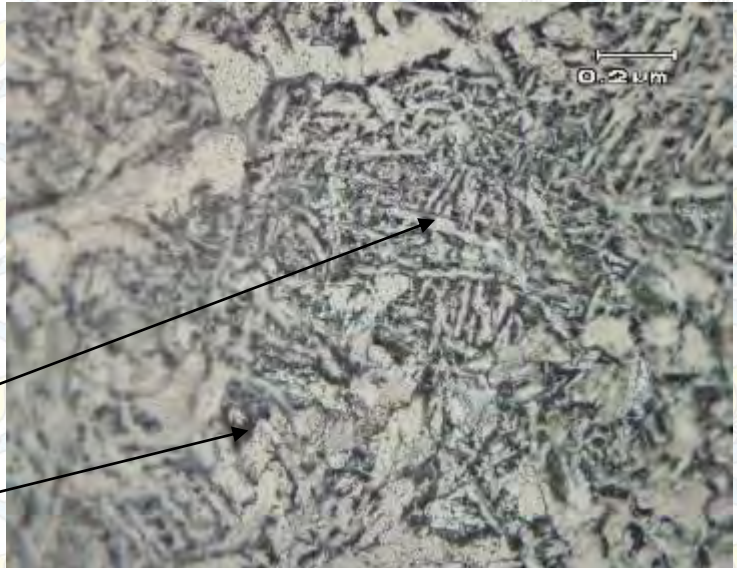


**Gambar 4.40** Weld Metal Sebelum Terbakar 500X



Ferrite

Pearlite



**Gambar 4.41** *Weld Metal Suhu 700°C 500X*

Pearlite

Ferrite



**Gambar 4.42** *Weld Metal Suhu 900°C 500X*



#### 4.4 Hubungan antara kekerasan dan Tarik

Pada teorinya material *low carbon steel* memiliki jenis *microstructure* yang sangat mempengaruhi *mechanical properties* suatu material. Sehingga pada penelitian ini akan dijelaskan kolerasi antara pengujian Tarik, hardness dan *microstructure*. Semakin tinggi kekerasan, maka material tersebut mempunyai sifat keuletan yang rendah. Begitu juga terjadi sebaliknya.

Pada sambungan las dari material SA 36 yang sebelumnya sudah terbakar mempunyai *microstructure* pada Base Metal berupa Ferrite dan Perlite. Akan tetapi beda halnya di daerah HAZ dan Weld Metal yang mempunyai *microstructure* berupa Ferrite dan beberapa jenis Bainite yakni Upper Bainite dan Lower Bainite. Sehingga jika dihubungkan dengan nilai kekerasan sesuai dengan tabel daerah Base Metal adalah daerah yang tidak terpengaruh adanya proses pengelasan beserta pemberian variasi panas. Sehingga nilai kekerasan relative sama dengan variable yang lainnya. Tetapi daerah HAZ dan Weld Metal menunjukkan nilai kekerasan. Maka jika dilakukan pengujian Tarik, hasilnya nilai keuletannya akan menurun.



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## BAB V KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dari hasil uji tarik , uji kekerasan , uji metalografi dapat disimpulkan bahwa sambungan las dari material baja SA36 yang sebelumnya sudah melalui proses kebakaran dengan suhu 700°C dan suhu 900°C adalah :

1. Hasil pengujian tarik antara spesimen yang terbakar dengan suhu 700°C memiliki kekuatan tarik lebih besar yaitu 486,34 N/mm<sup>2</sup> sedangkan spesimen yang terbakar dengan suhu 900°C memiliki kekuatan tarik lebih rendah yaitu 460,88 N/mm<sup>2</sup>. Daerah patahan terdapat pada *Base Metal* dan dilihat dari bentuk patahan spesimen, dapat dikatakan bahwa material bersifat *ductile* .
2. Berdasarkan hasil uji kekerasan. Nilai kekerasan pada spesimen yang terbakar dengan suhu 700°C lebih besar yaitu 84,701 HRB untuk spesimen yang terbakar dengan suhu 900°C memiliki nilai lebih rendah yaitu 84,484 HRB .Untuk semua specimen daerah yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada daerah sekitaran *Weld Metal* dan *HAZ* sedangkan paling rendah terletak pada daerah *Base Metal*.
3. Hasil pengujian makro untuk lebar rata – rata menunjukkan *HAZ* lebih lebar terdapat pada spesimen yang terbakar dengan suhu 900°C dengan lebar 2,7mm daripada spesimen yang terbakar dengan suhu 700°C dengan lebar 2,1mm. Pada hasil mikro yang dapat dilihat adalah struktur mikro dari *ferrit* dan *pearlit*.



## 5.2 Saran

1. Suhu pada saat pengisian layer tidak terkontrol sehingga satu layer memungkinkan mengalami panas yang tidak merata.
2. Kecepatan pada saat proses pengelasan tidak terkontrol sehingga bisa terjadinya *distorsi* dan *residual stress*.
3. Mesin las DC sebelumnya belum terkalibrasi dengan benar jadi untuk *Heat input* pada saat proses pengelasan sangat mempengaruhi hasil las.

## DAFTAR PUSTAKA

1. American Society of Mechanical Engineers Section IX, 2010, Welding and Brazing Qualifications.
2. American Society of Mechanical Engineers Section II, 2010, Ferrous Material Specifications.
3. ASM Handbook Vol. 1, 8th edition. 2005. Properties and Selection Irons, Steels dan High- Performance Alloys.
4. Callister, William D Jr. 2007. An Introduction Material Science and Engineering, 7th edition
5. Fohkard, Erich, 1988. Welding Metallurgy of Stainless Steel, Springer verlag Wien, New York.
6. Prasojo Budi, ST, MT, 2002, Petunjuk Praktikum Uji Bahan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
7. Schell, Frank R., 1979, Industrial Welding Prosedures, Delmar Publishers Inc, Albany, New York USA
8. Widiyono, Eddy, Suhariyanto, Hadi, Syamsul. 2011. Teori Dan Praktikum Ilmu Bahan Surabaya: Program Studi D3 Teknik Mesin FTI – ITS Kerjasama PT PLN.

# Lampiran 1

## Tensile- Reduced Section – Plate

### QW-462 Test Specimens

The purpose of the QW-462 figure is to give the manufacturer or contractor guidance in fabricating test specimens for tests required for procedure and performance qualifications. Unless a minimum, maximum, or tolerance is given in the figure or in QW-100, QW-101, or QW-103

specify the dimensional limits to consider. Appointments: All welding processes and filler material to be qualified must be included in the test specimens.

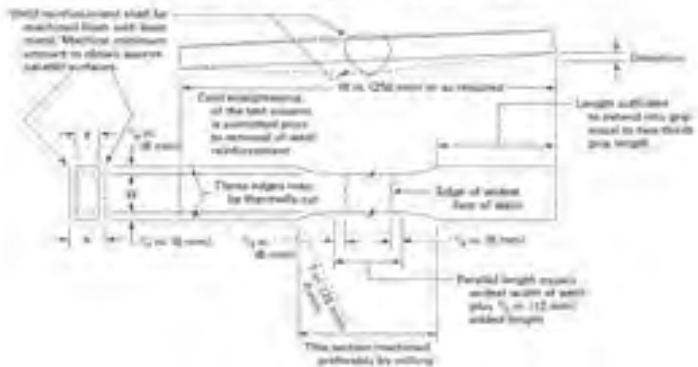
$T$  = coupon thickness (including reinforcement)

$W$  = specimen width  $\frac{1}{2}$  in. (12.5 mm)

$S$  = coupon thickness including reinforcement

$L$  = specimen thickness

### QW-462(a) TENSILE - REDUCED SECTION - PLATE





Tabel : Lanjutan Tabel ASME Sec II Material SA 36

Product	Shapes <sup>a</sup>	Plates <sup>b</sup>				
		To ¾ [20], in.	Over ¾ to 1½ [20 to 40], in.	Over 1½ to 2 ½ [40 to 65], in.	Over 2½ to 4 [65 to 100], in.	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All					
Carbon, max, %	0.28	0.25	0.25	0.28	0.27	0.29
Manganese, %	—	—	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40
Copper, min, % when cop- per steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Plates, Shapes,<sup>b</sup> and Bars:

Tensile strength, ksi [MPa]

58–80 [400–550]

Yield point, min, ksi [MPa]

36 [250]<sup>c</sup>

Plates and Bars<sup>d,e</sup>:

Elongation in 8 in. [200 mm], min, %

20

Elongation in 2 in. [50 mm], min, %

23

Shapes:

Elongation in 8 in. [200 mm], min, %

20

Elongation in 2 in. [50 mm], min, %

21<sup>b</sup>

<sup>a</sup> See Specimen Orientation under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

<sup>b</sup> For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 %, applies.

<sup>c</sup> Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

<sup>d</sup> Elongation not required to be determined for floor plate.

<sup>e</sup> For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See elongation requirement adjustments under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

## Lampiran 2

### Tabel : Konversi

TABLE (Continued) Conversion Factors

<b>Mass</b>	
1 kg = 2.204 623 lbm	1 lbm = 0.453 592 kg
1 tonne = 1000 kg	1 slug = 14.5939 kg
1 grain = 6.47989 × 10 <sup>-5</sup> kg	1 ton = 2000 lbm
<b>Moment (torque)</b>	
1 N·m = 0.737 562 lbf·ft	1 lbf·ft = 1.355 818 N·m
<b>Momentum (m/s)</b>	
1 kg·m/s = 7.232 94 lbm·ft/s	1 lbm·ft/s = 0.138 256 kg·m/s
<b>Power</b>	
1 W = 1 J/s = 1 N·m/s	1 lbf·ft/s = 1.355 818 W
1 W = 0.737 562 lbf·ft/s	1 Btu/s = 4.626 24 W
1 kW = 3412.14 Btu/h	1 Btu/s = 1.055 056 kW
1 hp (metric) = 0.735 499 kW	1 hp (UK) = 0.7457 kW
	1 hp (UK) = 550 lbf·ft/s
	1 hp (UK) = 2544.43 Btu/h
1 ton of refrigeration = 3.516 85 kW	1 ton of refrigeration = 12 000 Btu/h
<b>Pressure</b>	
1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> = 1 kg/m·s <sup>2</sup>	1 lbf/in. <sup>2</sup> = 6.894 757 kPa
1 bar = 1.0 × 10 <sup>5</sup> Pa = 100 kPa	1 atm = 14.695 94 lbf/in. <sup>2</sup>
1 atm = 101.325 kPa	1 atm = 29.921 in. Hg (32 F)
1 atm = 1.01325 bar	1 atm = 33.899 5 ft H <sub>2</sub> O (4°C)
1 atm = 760 mm Hg (0°C)	1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa
1 atm = 760.322 56 mm H <sub>2</sub> O (4°C)	1 in. Hg (0°C) = 0.491 15 lbf/in. <sup>2</sup>
1 torr = 1 mm Hg (0°C)	1 in. H <sub>2</sub> O (4°C) = 0.036 126 lbf/in. <sup>2</sup>
1 mm Hg (0°C) = 0.133 322 kPa	
1 mm H <sub>2</sub> O (4°C) = 9.806 38 kPa	
<b>Specific energy</b>	
1 kJ/kg = 0.42992 Btu/lbm	1 Btu/lbm = 2.326 kJ/kg
1 kJ/kg = 334.55 lbf·ft/lbm	1 lbf·ft/lbm = 2.98907 × 10 <sup>-3</sup> kJ/kg
	1 lbf·ft/lbm = 1.28507 × 10 <sup>-3</sup> Btu/lbm

Tabel : Lanjutan

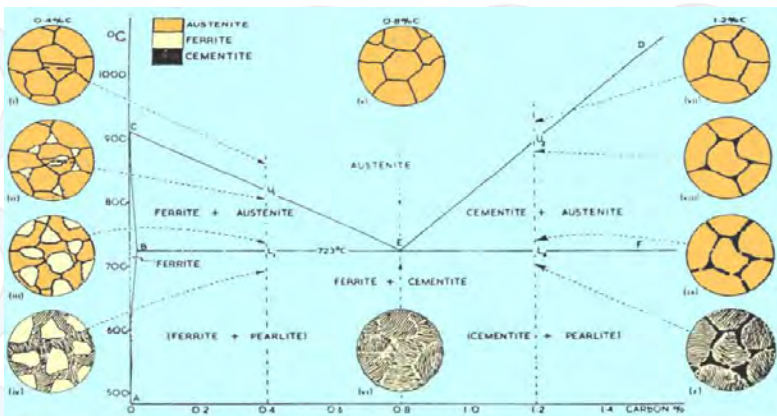
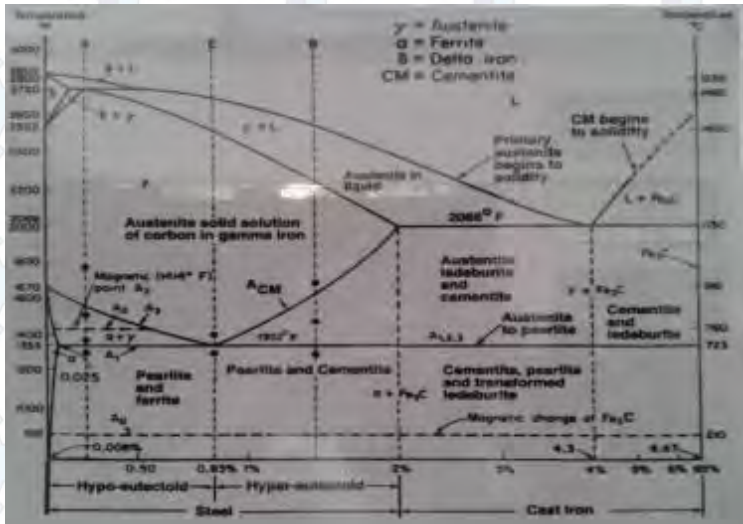
TABLE 1. Conversion Factors	
<b>Area</b>	
1 mm <sup>2</sup> = 1.0 × 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>	1 ft <sup>2</sup> = 144 in <sup>2</sup>
1 cm <sup>2</sup> = 1.0 × 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> = 0.159 in <sup>2</sup>	1 in <sup>2</sup> = 6.4516 cm <sup>2</sup> = 6.4516 × 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>
1 m <sup>2</sup> = 10.7639 ft <sup>2</sup>	1 ft <sup>2</sup> = 0.092 901 m <sup>2</sup>
<b>Conductivity</b>	
1 W/m-K = 1 J/s-m-K	1 Btu/h-ft-R = 1.730 732 W/m-K
= 0.577 789 Btu/h-ft-R	
<b>Density</b>	
1 kg/m <sup>3</sup> = 0.06242797 lbm/ft <sup>3</sup>	1 lbm/ft <sup>3</sup> = 16.018 46 kg/m <sup>3</sup>
1 g/cm <sup>3</sup> = 1000 kg/m <sup>3</sup>	
1 g/cm <sup>3</sup> = 1 kg/L	
<b>Energy</b>	
1 J = 1 N-m = 1 kg-m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	1 Btu-ft = 1.355 818 J
1 J = 0.737 562 lbf-ft	= 1.28507 × 10 <sup>-4</sup> Btu
1 cal (Int.) = 4.1868 J	1 Btu (Int.) = 1.055 056 kJ
	= 778.1693 lbf-ft
1 erg = 1.0 × 10 <sup>-7</sup> J	
1 eV = 1.602 177 33 × 10 <sup>-19</sup> J	
<b>Force</b>	
1 N = 0.224809 lbf	1 lbf = 4.448 222 N
1 kp = 9.806 65 N (1 kgf)	
<b>Gravitation</b>	
g = 9.80665 m/s <sup>2</sup>	g = 32.17403 ft/s <sup>2</sup>
<b>Heat capacity, specific entropy</b>	
1 kJ/kg-K = 0.238 846 Btu/lbm-R	1 Btu/lbm-R = 4.1868 kJ/kg-K
<b>Heat flux (per unit area)</b>	
1 W/m <sup>2</sup> = 0.316 998 Btu/h-ft <sup>2</sup>	1 Btu/h-ft <sup>2</sup> = 1.13458 W/m <sup>2</sup>
<b>Heat transfer coefficient</b>	
1 W/m <sup>2</sup> -K = 0.176 11 Btu/h-ft <sup>2</sup> -R	1 Btu/h-ft <sup>2</sup> -R = 5.81518 W/m <sup>2</sup> -K
<b>Length</b>	
1 mm = 0.001 m = 0.1 cm	1 ft = 12 in.
1 cm = 0.01 m = 10 mm = 0.39370 in.	1 in = 2.54 cm = 0.0254 m
1 m = 3.28084 ft = 39.370 in.	1 ft = 0.3048 m
1 km = 0.621 371 mi	1 mi = 1.609 344 km
1 mi = 1609.3 m (US statute)	1 yd = 0.9144 m



Tabel : Lanjutan

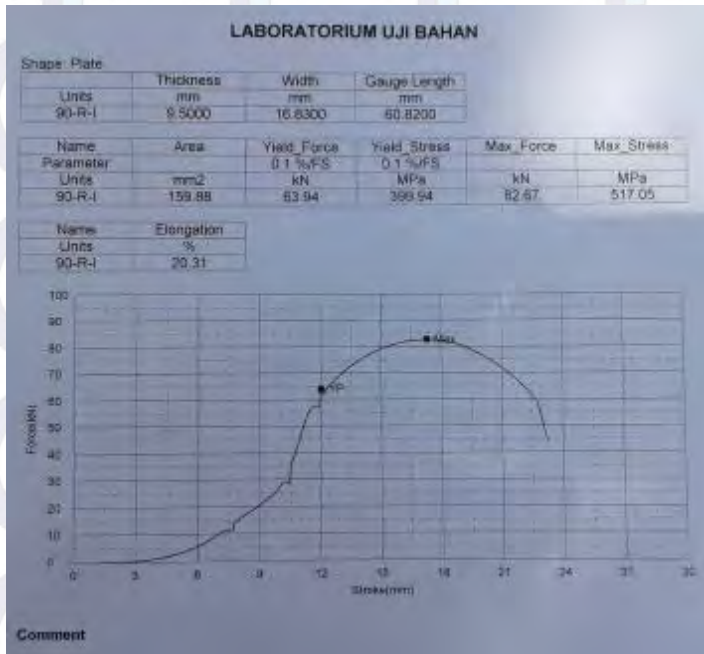
TABLE (Continued) Conversion Factors	
<b>Specific kinetic energy (<math>V^2</math>)</b>	
1 $\text{m}^2/\text{s}^2 = 0.001 \text{ kJ/kg}$	1 $\text{ft}^2/\text{s}^2 = 3.9941 \times 10^{-4} \text{ Btu/lbm}$
1 $\text{kJ/kg} = 1000 \text{ m}^2/\text{s}^2$	1 $\text{Btu/lbm} = 25037 \text{ ft}^2/\text{s}^2$
<b>Specific potential energy (<math>Zg</math>)</b>	
1 $\text{m} \cdot \text{g}_{32} = 9.80665 \times 10^{-4} \text{ kJ/kg}$	1 $\text{ft} \cdot \text{g}_{32} = 1.0 \text{ lbf-ft/lbm}$
$= 4.21607 \times 10^{-4} \text{ Btu/lbm}$	$= 0.001285 \text{ Btu/lbm}$
	$= 0.002989 \text{ kJ/kg}$
<b>Specific volume</b>	
1 $\text{cm}^3/\text{g} = 0.001 \text{ m}^3/\text{kg}$	
1 $\text{cm}^3/\text{g} = 1 \text{ L/kg}$	
1 $\text{m}^3/\text{kg} = 16.01846 \text{ ft}^3/\text{lbm}$	1 $\text{ft}^3/\text{lbm} = 0.062428 \text{ m}^3/\text{kg}$
<b>Temperature</b>	
1 $\text{K} = 1^\circ\text{C} = 1.8 \text{ R} = 1.8 \text{ F}$	1 $\text{R} = (5/9) \text{ K}$
$\text{TC} = \text{TK} - 273.15$	$\text{TF} = \text{TR} - 459.67$
$= (\text{TF} - 32)/1.8$	$= 1.8 \text{ TC} + 32$
$\text{TK} = \text{TR}/1.8$	$\text{TR} = 1.8 \text{ TK}$
<b>Universal Gas Constant</b>	
$R = N_A k = 8.3145 \text{ J/kmol} \cdot \text{K}$	$R = 1.98589 \text{ Btu/lbmol} \cdot \text{R}$
$= 1.98589 \text{ kcal/kmol} \cdot \text{K}$	$= 1545.36 \text{ lbf-ft/lbmol} \cdot \text{R}$
$= 82.0578 \text{ atm} \cdot \text{L/kmol} \cdot \text{K}$	$= 0.73024 \text{ atm} \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R}$
	$= 10.7317 \text{ (lbf/in.}^2\text{)} \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R}$
<b>Velocity</b>	
1 $\text{m/s} = 3.6 \text{ km/h}$	1 $\text{ft/s} = 0.681818 \text{ mi/h}$
$= 3.28084 \text{ ft/s}$	$= 0.3048 \text{ m/s}$
$= 2.23694 \text{ mi/h}$	$= 1.09726 \text{ km/h}$
1 $\text{km/h} = 0.27778 \text{ m/s}$	1 $\text{mi/h} = 1.46667 \text{ ft/s}$
$= 0.91134 \text{ ft/s}$	$= 0.44704 \text{ m/s}$
$= 0.62137 \text{ mi/h}$	$= 1.609344 \text{ km/h}$
<b>Volume</b>	
1 $\text{m}^3 = 35.3147 \text{ ft}^3$	1 $\text{ft}^3 = 2.831685 \times 10^{-2} \text{ m}^3$
1 $\text{L} = 1 \text{ dm}^3 = 0.001 \text{ m}^3$	1 $\text{in.}^3 = 1.6387 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
1 $\text{Gal (US)} = 3.785412 \text{ L}$	1 $\text{Gal (UK)} = 4.546090 \text{ L}$
$= 3.785412 \times 10^{-3} \text{ m}^3$	1 $\text{Gal (US)} = 231.00 \text{ in.}^3$

### Lampiran 3 Diagram $Fe_3C$



## Lampiran 4

### Hasil Uji Tarik Base Metal Noemal

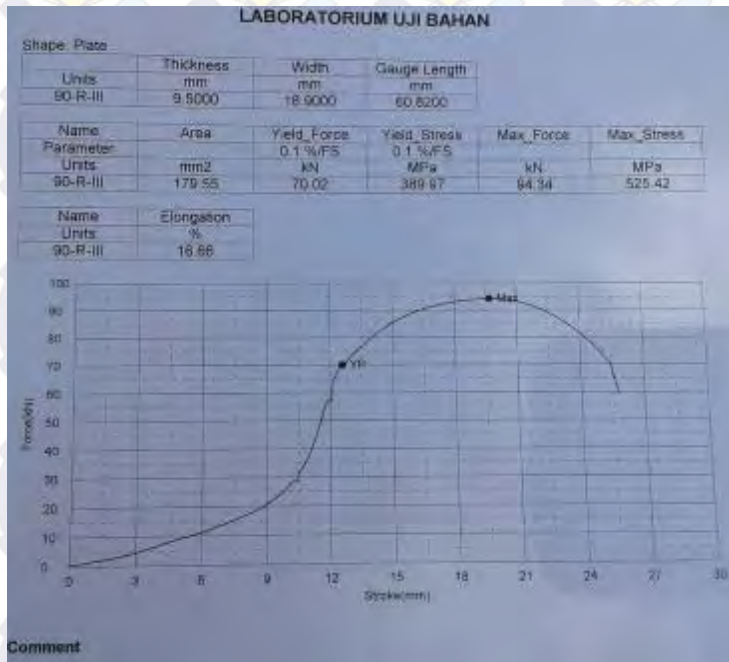




## Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan

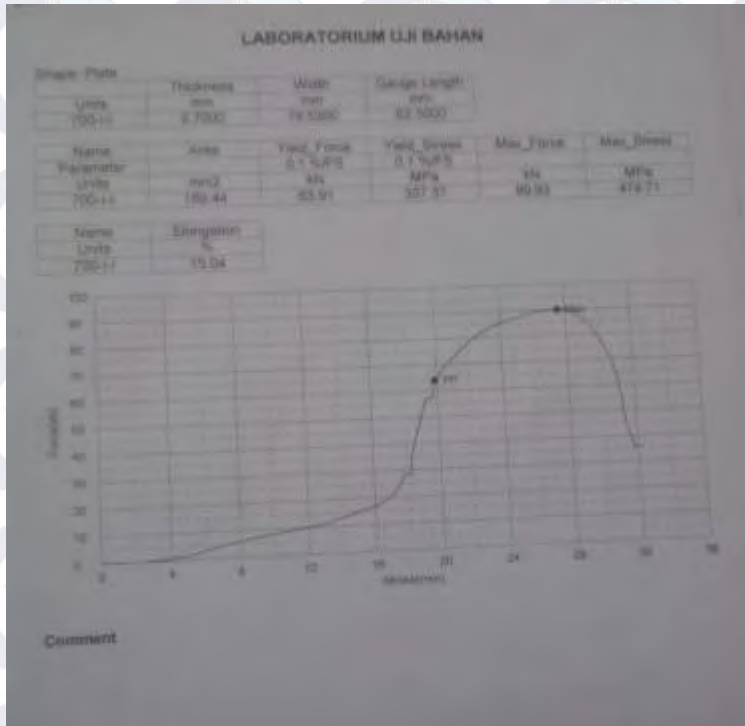


## Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan



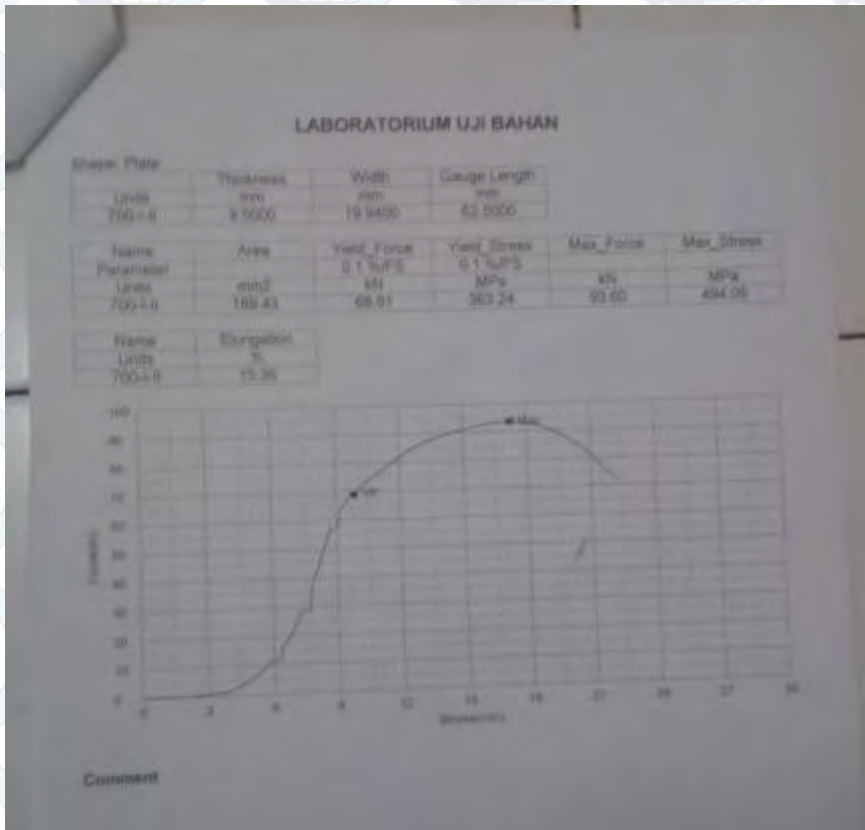
## Lampiran 5

### Hasil Uji Tarik Base Metal Variasi Suhu 700°C

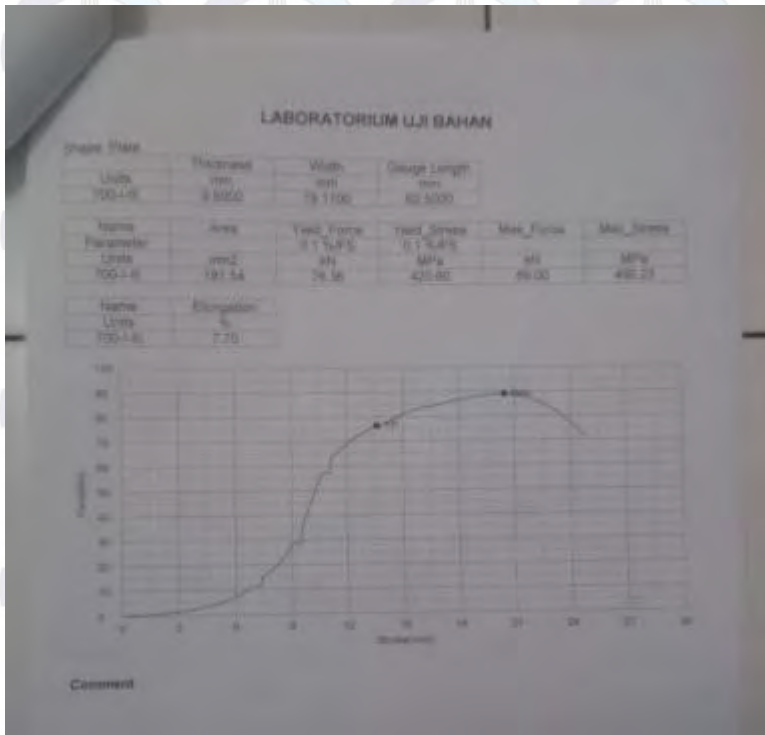




## Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan

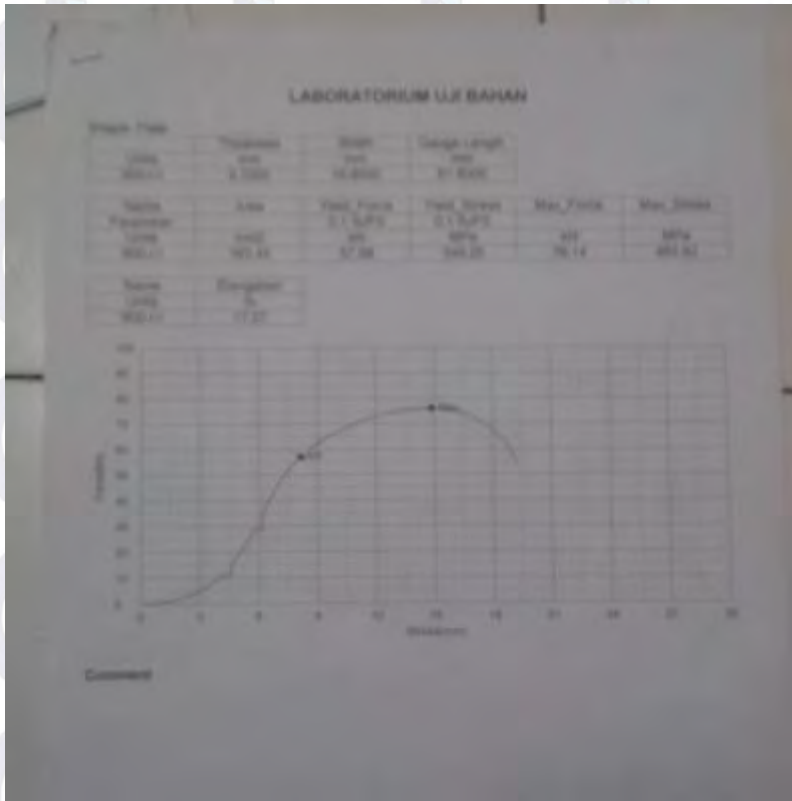


## Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan



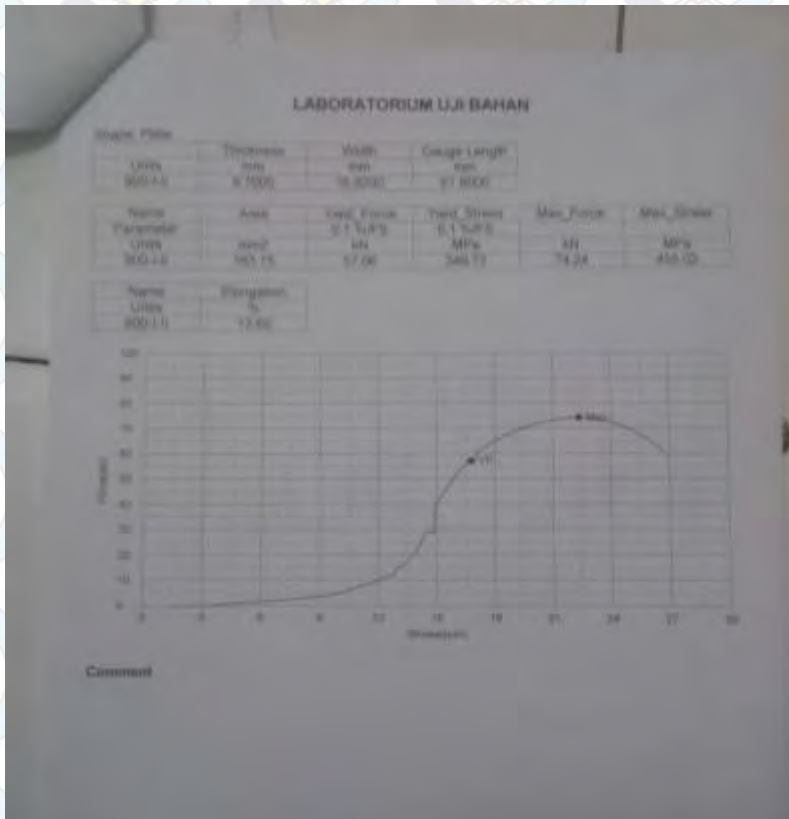
## Lampiran 6

### Hasil Uji Tarik Base Metal Variasi Suhu 900°C





## Hasil Uji Tarik Bahan : Lanjutan



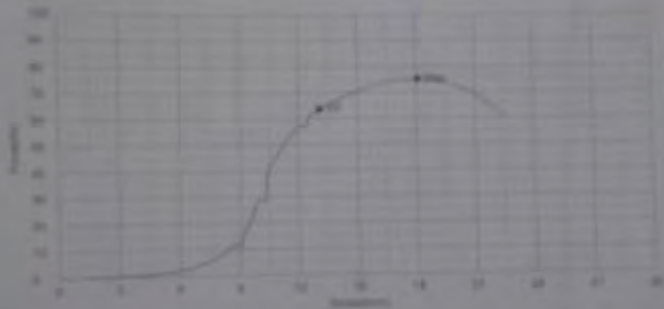
# LABORATORIUM UJI BAHAN

Sheet Title

Unit	Thickness	Width	Gauge Length
900-LR	9.180	76.400	51.810

Name	Area	Yield Point	Yield Stress	Max. Force	Max. Strain
Pengantar	834	2.1 N/mm <sup>2</sup>	2.1 N/mm <sup>2</sup>	98	18%
Unit	91.36	81.51	88.71	75.23	101.61

Name	Elongation %
Unit	15.36



Comment

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Mochammad Fahrizal lahir di Kota Surabaya Jawa Timur, pada tanggal 25 Agustus 1993. Bertempat tinggal di Jln Pesapen Barat gang 4 no 14. Penulis merupakan anak Pertama dari Ketiga bersaudara.

Pendidikan formal yang telah ditempuhnya yaitu pada tahun 1999-2005 bersekolah di SDN Perak Barat 4 Surabaya, Kemudian pada tahun 2005-2008 melanjutkan di SMPN 2 Kebomas Gresik, dan pada tahun 2008-2011 melanjutkan ke SMA Muhammadiyah 1 Gresik. Pada tahun 2012, penulis melanjutkan di Perguruan Tinggi Negeri di Surabaya, dengan mengambil Program Studi D3 Teknik Mesin Reguler FTI-ITS dalam bidang studi manufaktur.

Penulis sempat melakukan Kerja Praktek di PT. MERATUS LINE di Kota Surabaya selama 1 bulan dalam mata kuliah akademik semester 5.

Penulis juga sempat aktif di beberapa kegiatan yang diadakan oleh Himpunan D3 Teknik Mesin, mulai dari pelatihan sebagai peserta maupun panitia. Serta mengikuti organisasi himpunan sebagai Staf Lembaga Minat Bakat juga menjadi Asisten Laboratorium(Teknologi Mekanik)selama 2 periode kepengurusan dalam akademik.

Motto Hidup, “Jangan Mudah Menyerah Karena Pada Saat Waktu Dirimu Menyerah Mungkin Itu Kesempatanmu Untuk Berhasil”